

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS



**“GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS
ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN
RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE”**

CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS

Quito, Febrero, 2013

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**“GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS
ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN
RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE”**

Proyecto de Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniera de
Minas Grado Académico de Tercer Nivel

CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS

TUTOR: ADÁN GUZMÁN – ECUADOR
RAÚL GALÁN – CODELCO CHILE

Quito, Febrero, 2013

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente dejo constancia que he leído el Proyecto de Trabajo de Grado presentado por la señorita CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS, para optar por el título de INGENIERA EN MINAS cuyo tema tentativo es: “GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE” y en tal virtud, acepto asesorar al estudiante, en calidad de Tutor, durante la etapa de desarrollo de trabajo de grado hasta su presentación y evaluación.

En la ciudad de Quito a los 23 días del mes de septiembre de 2012.



Ing. Adán Guzmán
TUTOR

INFORME DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado, presentado por la señorita CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS, para optar el Título de INGENIERA EN MINAS, cuyo tema es: GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE. Considero que dicho Trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Quito DM a los 20 días del mes de diciembre de 2012.

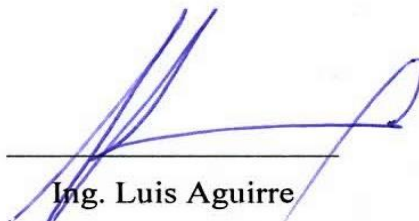


Ing. Adán Guzmán
TUTOR

INFORME DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El Tribunal de Grado conformado para receptor la exposición oral del trabajo de graduación preparado por la señorita CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS, egresada de la Carrera de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, sobre el tema “GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE”, integrado por los ingenieros Luis Aguirre, Delegado del señor Subdecano de la Facultad y como tal Presidente del Tribunal, Gerardo Herrera Heredia y Carlos Ortiz, Miembros del Tribunal, **DECLARA:** que la presente tesis ha sido revisada y aprobada, encontrándose lista y apta para su defensa oral.

Quito, 4 de febrero del 2013



PRESIDENTE TRIBUNAL



Ing. Carlos Ortiz
MIEMBRO



Ing. Gerardo Herrera
MIEMBRO

AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS, en calidad de autor de la tesis realizada sobre: “GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6 ,8 ,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

En la ciudad de Quito a los 4 días del mes de febrero de 2013.



Cynthia Anali Rojas Villacís

C.I. 1722419908

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL, en especial a la Gloriosa ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS, por haber proporcionado todo el conocimiento técnico y formación profesional necesarios para afrontar la vida laboral.

Quiero agradecer al selecto grupo de profesionales quienes me han formado en las aulas; a mis estimados compañeros de carrera quienes se han convertido en grandes amigos y quienes me han apoyado durante mi permanencia en la Escuela de Minas.

A la Corporación Nacional del Cobre de Chile – CODELCO DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo, y de manera especial a Don Raúl Galán Arancibia, Don Juan José Godoy, Don Ignacio Céspedes, Don Roger Plaza y Don Jorge Torres, por brindarme la oportunidad de pertenecer a su grupo de trabajo.

A mi querida Carito Adán por su amistad sincera, a Jorge por sus ánimos y palabras de aliento y a Estefanía por su amistad y apoyo.

Al tribunal de grado por su colaboración para el éxito de este trabajo de grado

Cynthia Anali

DEDICATORIA

Este trabajo de Tesis lo dedico primero a Dios, porque gracias a él he podido culminar con éxito mis metas porque él cuando yo hice lo posible el hizo lo imposible.

A mi querida familia, José Isaac y Myriam de Lourdes quienes como padres me brindaron todo su amor, comprensión y valores necesarios para afrontar los retos que me ha puesto la vida y en quienes siempre he encontrado un apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, porque con sus consejos y palabras de aliento formaron la mujer que soy. A mis hermanos Silvyta y Andresito por estar presentes con su apoyo, amor, comprensión y sobre todo paciencia para con su hermana, porque su ejemplo ha servido de impulso para alcanzar mis objetivos.

A mi querida abuelita Isabel por sus palabras de amor que sin saber me dieron aliento en esos momentos complicados.

.

Cynthia Anali

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XII
RESUMEN	XV
SUMMARY	XVI
SIGLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	3
<i>1.2.1 Objetivo General</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4
1.5. FACTIBILIDAD Y ACCESO A LA INFORMACIÓN.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. PRODUCCIÓN MINERA EN CHILE.....	6
2.2. CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE-CODELCO	8
2.3. MARCO INSTITUCIONAL.....	9
2.4. MARCO LEGAL.....	10
2.5. MARCO ÉTICO	11
2.6. MARCO REFERENCIAL	13
<i>2.6.1. Antecedentes.....</i>	<i>13</i>
<i>2.6.2. Ubicación de la Mina</i>	<i>16</i>
<i>2.6.3. Vías de acceso y comunicación</i>	<i>17</i>
<i>2.6.4. Topografía y relieve de la región</i>	<i>18</i>
<i>2.6.5. Clima, flora y fauna de la región</i>	<i>19</i>
<i>2.6.6. Aspectos socio-económicos de la población</i>	<i>22</i>
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	23
3.1. TIPO DE ESTUDIO	23
3.2. UNIVERSO	23
3.3. MUESTRA	24
3.4. TÉCNICAS.....	24
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA	25
4.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	25
4.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	27

4.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	38
4.4. MINERALIZACIÓN.....	41
4.5. ESTIMACIÓN DE RESERVAS	43
4.6. GEOTECNIA.....	44
CAPÍTULO V: MINERÍA.- EQUIPOS (ACEROS) DE PERFORACIÓN.....	48
5.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	48
5.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MINA A CIELO ABIERTO RADOMIRO TOMIC:	48
5.2.1. <i>Diseño de la mina</i>	48
5.2.2. <i>Planificación de la producción minera</i>	54
5.2.3. <i>Sistema de trabajo</i>	54
5.2.4. <i>Etapas del desarrollo minero</i>	55
5.2.5. <i>Modelo de perforación</i>	58
5.2.6. <i>Infraestructura minera</i>	66
5.2.7. <i>Protocolo de perforación</i>	67
5.3. EQUIPOS DE PERFORACIÓN:	70
5.3.1. <i>Tipos de perforadoras</i>	70
5.3.2. <i>Características técnico-operativas de las perforadoras</i>	72
5.3.3. <i>Tipos de aceros de perforación</i>	73
5.3.4. <i>Características técnico-operativas de los aceros de perforación</i>	74
5.4. VIDA ÚTIL DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN	77
5.4.1. <i>Vida útil</i>	77
5.4.2. <i>Muestreo de los aceros de perforación</i>	79
5.4.3. <i>Rendimiento de los aceros de perforación</i>	79
5.5. COSTOS DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN:	80
5.5.1. <i>Costos</i>	80
5.5.2. <i>Costo de los aceros de perforación</i>	82
CAPÍTULO VI: SISTEMA ACTUAL DE CONTROL Y REGISTRO DE USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN.....	88
6.1. PROGRAMAS DE CONTROL	88
6.1.1. <i>Jigsaw</i>	88
6.1.2. <i>Mineops</i>	89
6.2.1. <i>Estado Actual del Menú Cambio de Acero</i>	95
6.2.2. <i>Identificación de las Debilidades del Sistema</i>	100
6.3. DEBILIDADES DEL SISTEMA.....	101
6.3.1. <i>Por muestreo</i>	101
6.3.2. <i>Por verificación (chequeo)</i>	103
CAPÍTULO VII: PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	104
7.1. PROPUESTA DE PLAN DE ACCIÓN.....	104
7.2 COMPROMISO PARA REALIZAR MEJORAS EN EL SISTEMA	105
7.3. REALIZACIÓN DE LAS MEJORAS DEL SISTEMA	105
7.4. REVISIÓN DE LAS MEJORAS	105
7.5. APROBACIÓN DE LAS MEJORAS	106
7.6. CLIENTIZACIÓN DE LAS MEJORAS EN EL MENÚ DE CAMBIO DE ACERO DE LAS PERFORADORAS	108

7.7. INSTRUCCIÓN A LOS OPERADORES DE PERFORACIÓN	108
7.8. MODIFICACIÓN DEL REPORTE DETALLE CAMBIO DE ACERO	109
CAPÍTULO VIII: RESULTADOS	110
8.1. ESTADO DEL MENÚ CAMBIO DE ACERO CON LAS MEJORAS EFECTUADAS	110
8.2. PROCESAMIENTO DE DATOS	115
8.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	115
8.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	130
8.5. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS	134
CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
9.1. CONCLUSIONES GENERALES:	135
9.2. CONCLUSIONES EXPERIMENTALES:	135
9.3. RECOMENDACIONES	138
CAPÍTULO X: BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	139
10.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
10.2. BIBLIOGRAFÍA	140
10.3. WEBGRAFÍA	141
10.4. ANEXOS	143
ANEXO A. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO	143
ANEXO B. COMPROMISO	144
ANEXO C. REPORTE DETALLE CAMBIO DE ACERO	145
ANEXO D. MENÚ CAMBIO DE ACERO JSpaanel PERFORADORAS	146
ANEXO E. CAPACITACIÓN OPERADORES	167
ANEXO F. CAPACITACIÓN OPERADORES TERRENO	168

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 COORDENADAS DIVISIÓN RT	17
TABLA 2 LÍMITE DE MODELO DE BLOQUES	43
TABLA 3 CATEGORIZACIÓN DE RECURSOS EN MODELO DE BLOQUES	43
TABLA 4 SECUENCIA DESARROLLO DE FASES ÓXIDO	50
TABLA 5 SECUENCIA DE DESARROLLO FASES SULFURO	51
TABLA 6 MOVIMIENTO DE MATERIALES MINA RT	54
TABLA 7 DISTRIBUCIÓN GRUPOS DE TRABAJO	55
TABLA 8 CANTIDAD DE EXPLOSIVO	61
TABLA 9 CANTIDAD DE EXPLOSIVO	61
TABLA 10 RANGOS DE FACTOR DE CARGA PARA EL SECTOR ÓXIDOS	62
TABLA 11 CANTIDAD DE EXPLOSIVO	63
TABLA 12 CANTIDAD DE EXPLOSIVO	64
TABLA 13 RANGOS DE FACTOR CARGA SECTOR GRAVA	64
TABLA 14 CANTIDAD DE EXPLOSIVO	65
TABLA 15 EQUIPO CARGUÍO Y TRANSPORTE	66
TABLA 16 EQUIPOS DE PERFORACIÓN	66
TABLA 17 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN	73

TABLA 18 VIDA ÚTIL DE LOS ACEROS EN METROS PERFORADOS	78
TABLA 19 CÁLCULO PERFORACIÓN ESPECÍFICA	82
TABLA 20 CONSUMO ACEROS PERFORADORA PIT VIPER.....	82
TABLA 21 CONSUMO ACEROS PERFORADORA DML.....	83
TABLA 22 COSTO TOTAL ACEROS PIT VIPER	83
TABLA 23 COSTO TOTAL ACEROS DML	83
TABLA 24 DATOS PARA CÁLCULO COSTO ACERO POR METRO PERFORADO PV.....	84
TABLA 25 COSTO ACERO POR METRO PERFORADO PV	84
TABLA 26 DATOS PARA CÁLCULO DE COSTO DE ACEROS POR METRO PERFORADO DML	84
TABLA 27 CÁLCULO DE COSTO ACEROS POR METRO PERFORADO DML	85
TABLA 28 COSTOS DE PERFORACIÓN.....	85
TABLA 29 RENDIMIENTO PERFORACIÓN Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	86
TABLA 30 COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN	86
TABLA 31 PORCENTAJE COSTO ACERO DEL COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN	87
TABLA 32 COSTO DE PERFORACIÓN TOTAL	87
TABLA 33 RENDIMIENTO TRICONOS 12 1/4.....	130
TABLA 34 RENDIMIENTO TRICONOS 9 7/8.....	131
TABLA 35 RENDIMIENTO BARRAS 10 3/4 Y 7 5/8	131
TABLA 36 RENDIMIENTO ANILLO GUÍA 10 3/4	132
TABLA 37 RENDIMIENTO ESTABILIZADOR 7 5/8.....	132
TABLA 38 RENDIMIENTO ESTABILIZADOR 10 3/4.....	133
TABLA 39 JERARQUIZACIÓN DE RENDIMIENTOS DE ACEROS.....	134

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 MAYORES PRODUCTORES DE COBRE DEL MUNDO AÑO 2010	7
ILUSTRACIÓN 2 PRIMERA VOLADURA RADOMIRO TOMIC (RT)	13
ILUSTRACIÓN 3 VISTA AÉREA MINA RT.....	14
ILUSTRACIÓN 4 MAPA DE UBICACIÓN DIVISIÓN RT	16
ILUSTRACIÓN 5 RUTAS DE ACCESO A DIVISIÓN RT	17
ILUSTRACIÓN 6 PERFIL TOPOGRÁFICO Y RELIEVE DE LA R. ANTOFAGASTA.....	19
ILUSTRACIÓN 7 LEYENDA EXPANDIDA Y EXPLICACIÓN DE LA FIGURA EN PÁGINA SIGUIENTE.	26
ILUSTRACIÓN 8 ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA MINA RT.	34
ILUSTRACIÓN 9 ESQUEMA ESTRUCTURAL DISTRITAL Y DOMINIOS ESTRUCTURALES PARA EL DISTRITO RT. TOMADA DE LEIVA Y OTROS (2000). COORDENADAS INTERNAS MINA CHUQUICAMATA – RT.....	36
ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DE GEOLOGÍA DISTRITAL MINA RT.....	38
ILUSTRACIÓN 11 MODELO 3D DE UGTB	46
ILUSTRACIÓN 12 DISTRIBUCIÓN Y LÍMITES DE LOS DOMINIOS ESTRUCTURALES RECONOCIDOS EN EL YACIMIENTO CENTRAL.	47
ILUSTRACIÓN 13 SECUENCIA ECONÓMICA DEL RAJO, POR FASES	49
ILUSTRACIÓN 14 FASES DE ÓXIDOS	50
ILUSTRACIÓN 15 FASES SULFUROS	51
ILUSTRACIÓN 16 ÁNGULOS DE INTER-RAMPA ÓXIDOS	52
ILUSTRACIÓN 17 ÁNGULOS DE INTER-RAMPA SULFUROS	53

ILUSTRACIÓN 18 MALLA DE PERFORACIÓN CIERRE BANCO SIMPLE	58
ILUSTRACIÓN 19 MALLA PERFORACIÓN CIERRE BANCO DOBLE.....	59
ILUSTRACIÓN 20 MALLA PERFORACIÓN ÓXIDOS BANCO SIMPLE	60
ILUSTRACIÓN 21 MALLA PERFORACIÓN ÓXIDOS BANCO DOBLE	60
ILUSTRACIÓN 22 DISEÑO CARGADO ÓXIDOS BANCO SIMPLE	61
ILUSTRACIÓN 23 DISEÑO CARGADO ÓXIDOS BANCO DOBLE	61
ILUSTRACIÓN 24 MALLA PERFORACIÓN SULFUROS BANCO SIMPLE	62
ILUSTRACIÓN 25 DISEÑO CARGADO SULFUROS BANCO SIMPLE	62
ILUSTRACIÓN 26 MALLA PERFORACIÓN GRAVA LASTRE BANCO SIMPLE	63
ILUSTRACIÓN 27 DISEÑO CARGADO GRAVA LASTRE BANCO SIMPLE	64
ILUSTRACIÓN 28 MALLA PERFORACIÓN GRAVA LASTRE BANCO DOBLE.....	65
ILUSTRACIÓN 29 DISEÑO CARGADO GRAVA LASTRE BANCO DOBLE	65
ILUSTRACIÓN 30 PLANO DE EVACUACIÓN DE VOLADURA	68
ILUSTRACIÓN 31 HOJA DE DECLARACIÓN DE PERSONAL FUERA DEL ÁREA DE VOLADURA	69
ILUSTRACIÓN 32 PERFORADORA DE PRODUCCIÓN PIT VIPER 351.....	70
ILUSTRACIÓN 33 PERFORADORA PARA PRECORTE MODELO DML	71
ILUSTRACIÓN 34 PERFORADORA PARA BUFFER ROC-L8.....	72
ILUSTRACIÓN 35 SARTA DE PERFORACIÓN.....	76
ILUSTRACIÓN 36: SARTA DE PERFORACIÓN ROTOPERCUTIVA.....	77
ILUSTRACIÓN 37 MINEOPS-ESTADO PERFORADORA.....	90
ILUSTRACIÓN 38 MINEOPS- VENTANA VNC.....	90
ILUSTRACIÓN 39 MINEOPS - LISTA DE ACEROS CAMBIADOS.....	91
ILUSTRACIÓN 40 MINEOPS - ESTADO PERFORADORAS	91
ILUSTRACIÓN 41 MINEOPS - ACTIVIDAD PERFORADORAS	92
ILUSTRACIÓN 42 MINEOPS - MOTIVO DE LA ACTIVIDAD DE LA PERFORADORA	92
ILUSTRACIÓN 43 TOTAL VIEW - REPORTE DETALLE CAMBIO DE ACERO	94
ILUSTRACIÓN 44 INGRESO AL MENÚ CAMBIO DE ACERO.....	95
ILUSTRACIÓN 45 ELEMENTOS DE LA SARTA DE PERFORACIÓN	96
ILUSTRACIÓN 46 MENÚ DESMONTE ACERO	96
ILUSTRACIÓN 47 RAZÓN Y MOTIVO DEL CAMBIO DE ACERO	97
ILUSTRACIÓN 48 FINALIZACIÓN CAMBIO DE ACERO-MENSAJE DE CONFIRMACIÓN	97
ILUSTRACIÓN 49 DIAGRAMA DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIO DE ACEROS.....	99
ILUSTRACIÓN 50 TOTAL VIEW - EXTRACTO DE REPORTES	101
ILUSTRACIÓN 51 DIAGRAMA PROPUESTO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CAMBIO DE ACERO.....	107
ILUSTRACIÓN 52 CAPACITACIONES	108
ILUSTRACIÓN 53 MENÚ ESTADO - DEMORAS	110
ILUSTRACIÓN 54 MENÚ DETENCIONES	110
ILUSTRACIÓN 55 MENÚ SARTA DE PERFORACIÓN.....	111
ILUSTRACIÓN 56 MENÚ MOTIVO DE SALIDA.....	111
ILUSTRACIÓN 57 MENÚ INGRESO NÚMERO DE SERIE	112
ILUSTRACIÓN 58 MENÚ SELECCIÓN FABRICANTE.....	112
ILUSTRACIÓN 59 MENÚ MODELO ACERO.....	113
ILUSTRACIÓN 60 MENÚ DIMENSIONES DEL ACERO	113
ILUSTRACIÓN 61 MENÚ POSICIÓN DEL ACERO.....	114
ILUSTRACIÓN 62 MENSAJE DE CONFIRMACIÓN DE ACERO SALIENTE Y ACERO ENTRANTE.....	114

ILUSTRACIÓN 63 ACEROS CAMBIADOS REGISTRO MINEOPS	115
ILUSTRACIÓN 64 CAMBIOS DE ACEROS REGISTRO DRILLCO TOOLS S.A.....	116
ILUSTRACIÓN 65 RENDIMIENTO TRICONO ATLAS COPCO HD-53	116
ILUSTRACIÓN 66 RENDIMIENTO TRICONO ATLAS COPCO HD-64	117
ILUSTRACIÓN 67 RENDIMIENTO TRICONO DRILLCO SA-532	117
ILUSTRACIÓN 68 RENDIMIENTO TRICONO DRILLCO SA-632	118
ILUSTRACIÓN 69 RENDIMIENTO TRICONO DRILLCO WLS-60.....	118
ILUSTRACIÓN 70 RENDIMIENTO TRICONO ATLAS COPCO HD-53	119
ILUSTRACIÓN 71 RENDIMIENTO TRICONO WLS WLS-60.....	119
ILUSTRACIÓN 72 RENDIMEINTO TRICONO ATLAS COPCO HD-53	120
ILUSTRACIÓN 73 RENDIMIENTO TRICONO DRILLCO SA-535	120
ILUSTRACIÓN 74 RENDIMIENTO TRICONO SA-615	121
ILUSTRACIÓN 75 RENDIMIENTO TRICONO SA-635	121
ILUSTRACIÓN 76 RENDIMIENTO TRICONO SANDVIK SA-40.....	122
ILUSTRACIÓN 77 RENDIMIENTO TRICONO WLS-60.....	122
ILUSTRACIÓN 78 RENDIMIENTO TRICONO WLS-62Y	123
ILUSTRACIÓN 79 RENDIMIENTO BARRA AGEOMET	123
ILUSTRACIÓN 80 RENDIMIENTO BARRA METAL TOOLS.....	124
ILUSTRACIÓN 81 RENDIMIENTO BARRA MTI	124
ILUSTRACIÓN 82 RENDIMIENTO BARRA TASSAROLY	125
ILUSTRACIÓN 83 RENDIMIENTO BARRA ATLAS COPCO	125
ILUSTRACIÓN 84 RENDIMIENTO BARRA METAL TOOLS.....	126
ILUSTRACIÓN 85 RENDIMIENTO ANILLO GUÍA TASSAROLY	126
ILUSTRACIÓN 86 RENDIMIENTO ANILLO GUÍA ATLAS COPCO.....	127
ILUSTRACIÓN 87 RENDIMIENTO ANILLO GUÍA METAL TOOLS.....	127
ILUSTRACIÓN 88 RENDIMIENTO ESTABILIZADOR ATLAS COPCO	128
ILUSTRACIÓN 89 RENDIMIENTO ESTABILIZADOR METAL TOOLS	128
ILUSTRACIÓN 90 RENDIMIENTO ESTABILIZADOR TASSAROLY	129

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“GESTIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL USO DE LOS
ACEROS DE PERFORACIÓN EN LA MINA RADOMIRO TOMIC DE LA DIVISIÓN
RADOMIRO TOMIC DE CODELCO-CHILE”

Autor: Cynthia Anali Rojas Villacís

Tutor: Adán Guzmán

Julio de 2012

RESUMEN

El presente trabajo de investigación contiene un análisis a la importancia de efectuar un adecuado registro del cambio de los aceros de perforación en la Mina Radomiro Tomic de Codelco-Chile, mediante observación y recopilación de información in situ y datos e información extraídos del Sistema de Control del Cambio de los Aceros de Perforación contenidos en el programa Mineops y en la plataforma de reportes TotalView, para calcular la vida útil de cada elemento del set (sarta) de perforación, el costo de cada elemento y el costo total de perforación.

Con este proceso y en base de los datos disponibles, se calculó la incidencia que tiene en el costo total de perforación el costo de los aceros de perforación y se llegó a determinar los aceros más aptos para alcanzar los rendimientos programados.

En el primer capítulo contiene el Planteamiento del Problema con los objetivos generales y específicos, la justificación e importancia del presente estudio y la hipótesis planteada.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico que engloba el estudio desarrollado así como el marco institucional, el marco legal, el marco ético y el marco referencial de la industria minera y de CODELCO-Chile.

El tercer capítulo aborda el diseño metodológico del presente trabajo, describiendo el tipo de estudio, el universo, la muestra y las técnicas empleadas para su elaboración.

En el capítulo cuarto se describe la geología regional, local y del yacimiento, la mineralización, la estimación de reservas y la geotecnia.

El capítulo quinto define las características del depósito de la Mina a Cielo Abierto Radomiro Tomic, los equipos de perforación utilizados, su vida útil técnico-operativas y los costos de cada uno de ellos.

El capítulo sexto describe el Sistema Actual de Control y Registro de uso de los Aceros de Perforación y profundiza las debilidades del mismo.

El capítulo séptimo contiene mi propuesta para mejorar el Sistema de Control del uso de los Aceros de Perforación y describe el plan de acción que debe seguirse para mejorar.

En el capítulo octavo se presentan los resultados del análisis efectuado con su respectiva jerarquización de alternativas.

En el capítulo nueve se presentan las conclusiones y recomendaciones propuestas, producto del desarrollo de este trabajo de investigación.

Y finalmente el capítulo décimo presenta los datos bibliográficos y los anexos correspondientes.

Descriptores:

Registro de los aceros de perforación

Aceros de perforación

Cambio de los aceros de perforación

Sistema de Control de las herramientas de perforación

Vida útil de los aceros de perforación

Costo de perforación

Categorías Temáticas: <CS-Aceros de perforación>; <CS-Perforación y Voladura>; <CP-Explotación a Cielo Abierto>;<CP-Ingeniería de Minas>

SUMMARY

This research contains an analysis that remarks the importance of a good register of the drilling steel change at Radomiro Tomic from Codelco-Chile, made through observation and field information gathering and supported with data extracted from the Change Control System of Drilling Steels conformed by the Mineops program and the reporting platform TotalView, achieving calculate the useful life of each element from the drillstring and also their cost and the whole drilling cost.

With this data the incidence that the total drilling cost has in the drilling steel cost was calculated, and also was determined that this steel are the most suitable to work according to their performance.

In the first chapter is described the Problem Statement with the main and secondary objectives, justification and the importance of study and the hypothesis.

The second chapter describes the theoretical framework that is confined to the study, the institutional, legal, ethical framework and the framework.

The third chapter describes the methodological design of the study describing the type of study, universe, and shows the techniques used in the study.

Chapter four is a description of the local and regional geology, and deposit, mineralization, reserve estimation and geotechnics.

Chapter five deals with the characteristics of the Radomiro Tomic mine surface, drilling equipment used in the mine life drill steel and costs of drilling rigs.

Chapter six describes the weaknesses and System Registry Current Control usage and drill steel.

Chapter seven contains the Motion Control System Improving the use of drill steels describing the action plan to be followed to improve the control system.

Chapter eight presents the results of the analysis for the interpretation of the results and the ranking of the results.

In the ninth chapter presents the conclusions and recommendations have obtained with this study.

And finally the tenth chapter presents bibliographic data and annexes.

Descriptors:

Register of drill steels

Drill steels

Change drill steels

Control system of drill steels

Useful Life of drill steels

Drilling cost

Thematic Categories: <CS-Drill steels>; <CS-Drilling and Blasting >; <CP- Opencast Mining>; <CP-Mining Engineering>

SIGLAS

CODELCO: Corporación Nacional del Cobre Chile

Kt: kilo toneladas

Ktpd: Kilo toneladas por día

KUS\$: Kilo dólares

PV: Pit Viper

RF: Revenue factor, un RF =1, corresponde a 2.5 U\$/lb.

RT: Radomiro Tomic

US\$: Dólares

INTRODUCCIÓN

El consumo de aceros de perforación es un rubro minero importante en el cálculo del costo unitario de perforación. Por lo que su eficiente control y administración requiere de especial atención, ya que ello, ayuda a disponer de datos exactos y reales sobre su rendimiento.

El presente proyecto de investigación, tiene como objetivo presentar una propuesta de solución al control de uso de aceros de perforación, para mejorar su reportabilidad de cambio.

Para cumplir con el objetivo general de esta investigación se realizaron observaciones in situ para conocer el procedimiento que ejecuta el operador de la perforadora al momento de cambiar el acero (barreno), de manera que se pueda identificar las fallas que su accionar generan en el proceso, así como efectuar muestreos de los aceros cambiados para medir el rendimiento de los mismos.

Una vez registrado in situ el proceso de cambio de los aceros se verificará si efectivamente esos datos se registran en el programa MINEOPS y si ellos se reflejan en la plataforma de reportes TotalView.

Con los resultados obtenidos se podrá concluir si las fallas de control en el uso (cambio) de los aceros de perforación están reflejadas en el programa, o si solo se trata de un mal manejo del programa por parte de los operadores, para proponer las respectivas soluciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Definición del Problema

Los aceros de perforación, como herramientas mineras especiales deben ser capaces de soportar el fuerte desgaste y las exigentes condiciones de trabajo a los que son sometidos. El vertiginoso desarrollo en la manufactura (construcción) de los equipos para perforación de roca, ha ido aparejado con una constante innovación en la calidad y tipo de los aceros de perforación, cuya función es taladrar la roca, mediante la transmisión de ondas de impacto producidas por un émbolo (pistón) hidráulico o neumático, en labores de explotación minera, obras civiles o sondajes de exploración.

El empleo de aleaciones metálicas cada vez más resistentes, así como la variación en el diseño y componentes de los aceros de perforación (barrenos y brocas) y la incorporación de metales de mayor dureza, son algunos de los avances tecnológicos incorporados a materia de perforación minera, para obtener mayor vida útil, mayor velocidad de penetración y menor costo unitario (\$/m perforado).

El motivo principal para disponer de un plan de control de uso de los aceros de perforación es contar con información real sobre su desgaste (vida útil), pues en base de ello se determinará el costo total de una perforación, así como el costo específico de cada componente.

El plan de control de uso de los aceros de perforación proporciona información en tiempo real y permite definir su rendimiento y duración, datos que provienen de un control metódico y sistemático de la longitud (metraje) que perfora cada acero (barreno mas broca).

La mina Radomiro Tomic, ubicada en la República de Chile, II. Región Antofagasta, provincia El Loa, comuna Calama, cuenta con un Sistema de Control de uso de los Aceros de Perforación elaborado en JIG SAW que con su aplicación Mineops, se encarga de almacenar datos sobre el trabajo que realizan las perforadoras, información que registra el sistema y corresponde al número de perforación, al ciclo de trabajo, al estado (estatus) del equipo y al cambio de aceros.

El sistema vigente fue implementado en octubre del 2011, con la finalidad de poder obtener información sobre el rendimiento de los equipos, los metros perforados y el uso de los aceros de perforación.

A la fecha, el sistema presenta problemas respecto al cambio de los aceros de perforación, ya que los trabajadores tienen dificultad al momento de ingresar los datos al sistema, ya sea por confusión de los términos empleados en la visualización del programa o por errores personales, falencias que hacen que los datos sobre el uso de los aceros de perforación no sean confiables y no permitan conocer la duración (vida útil) efectiva de los triconos, barras, adaptadores y demás elementos de perforación, todos estos problemas se refleja en los reportes deficientes que muestra la plataforma de reportes TotalView.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Presentar una propuesta para el Mejoramiento del Sistema de Control de uso de los Aceros de Perforación en la Mina Radomiro Tomic.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las debilidades del actual sistema de control de uso de los aceros de perforación
- Analizar las debilidades encontradas en el sistema y determinar su incidencia en el cálculo del rendimiento de los aceros de perforación.
- Corregir las debilidades encontradas en el sistema de control de uso de los aceros de perforación.
- Mejorar la reportabilidad del sistema de control de uso de los aceros de perforación.
- Determinar el efecto positivo que generen las mejoras en el sistema de control de uso de los aceros de perforación sobre el cálculo de sus rendimientos.
- Comprobar si los cambios propuestos en el sistema contribuyen a mejorar el cálculo del costo unitario de perforación (\$/m).
- Presentar los resultados obtenidos a la Superintendencia de Programación, Control Procesos & Servicios de la Gerencia Mina de la División Radomiro Tomic.

1.3. Justificación e importancia

En la Mina Radomiro Tomic, el control de uso de las perforadoras se realiza por medio del Sistema JIG SAW, que registra el Ingreso del número de la perforación, ciclo de trabajo, el estado (estatus) del equipo y el cambio de aceros, para determinar su efectiva vida útil y el registro de cambio de los aceros de perforación.

Este sistema, durante su tiempo de aplicación ha generado dificultades a los operadores de las perforadoras al momento de ingresar los datos, puesto que existe confusión en los términos empleados e inadecuada visualización del sistema JIG SAW. Estos inconvenientes da como resultado datos erróneos sobre el uso de los aceros y sobre el control de su cambio, presentando casos en los que una perforadora registra que está trabajando con más de un tricono o más de una barra o que una determinada barra alcanza un número irreal de metros perforados.

Ante esta situación se requiere presentar una propuesta (gestionar) de mejoramiento del Sistema JIG SAW, de manera que el ingreso de los datos del trabajo de las perforadoras sea eficiente, genere datos confiables sobre el uso de los aceros empleados, en su reportabilidad y permitan establecer el rendimiento real de los mismos.

Esta propuesta permitirá obtener información confiable y real sobre el rendimiento (metros perforados) de los elementos de la sarta (set) de perforación, obteniendo así datos estadísticos sobre el uso de los aceros y con la que se podrá apoyar a la toma de decisiones en cuanto se refiere a la elección de marcas y modelos de los aceros, basando la elección en el rendimiento del acero de perforación.

1.4. Hipótesis

La ejecución del presente trabajo se sustenta en:

¿La gestión para el mejoramiento del Sistema de Control de uso de los Aceros de Perforación en la mina Radomiro Tomic permitirá mejorar la reportabilidad del cambio de los aceros?

1.5. Factibilidad y acceso a la información

Factibilidad

El presente proyecto de investigación cuenta con las siguientes facilidades:

Recursos bibliográficos y web-gráficos: Representados por libros, artículos y manuales para realizar consultas sobre conceptos o técnicas acerca del tema en estudio.

Talento Humano: La elaboración del proyecto dispondrá de un tutor que dirigirá al autor en la elaboración de la investigación propuesta.

Recursos Económicos: Los costos y gastos que demande la ejecución del presente proyecto serán cubiertos en un 80% por la empresa patrocinadora y el 20% por el estudiante.

Tiempo: Se dispone del tiempo suficiente para elaborar el trabajo en todas sus etapas.

Accesibilidad a la Información

La Corporación Nacional del Cobre CODELCO-Chile, concedió la autorización necesaria para realizar este proyecto de investigación, de manera que existe la colaboración de la Superintendencia de Programación & Control de Procesos y Servicios y además. CODELCO RT ha comprometido asesoría e información pertinente sobre el tema en estudio para que el desarrollo de este proyecto se efectúe sin ningún inconveniente.

Por su parte la Universidad Central del Ecuador y específicamente la FIGEMPA respalda el accionar de la autora y facilitará todos los trámites necesarios, para la elaboración de este proyecto de investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Producción Minera en Chile

El sector minero chileno se compone fundamentalmente de productores de cobre, oro y plata. Aunque se trata de una actividad históricamente importante en la economía de Chile, en las últimas décadas se ha constituido en uno de los sectores más dinámicos de la economía.

Las actividades mineras pueden encontrarse a lo largo de todo Chile. En el Norte chileno se ubica la mayor parte de las reservas de cobre y oro. La actividad más importante es la minería del cobre, que además genera buena parte de la producción de oro y plata, como subproductos.

Se identifican tres segmentos en el sector minero chileno: Gran Minería, Mediana Minería y Pequeña Minería. La Minería Estatal la llevan a cabo a gran escala Codelco y Enami. En la Minería Privada subsisten relacionados los tres segmentos mencionados y se vinculan con Enami a través de su estructura de abastecimiento.

Si bien ni la Pequeña ni la Mediana Minería cuentan con infraestructura de fundición, éstos se han constituido en abastecedores de los procesos posteriores.

En la Pequeña Minería chilena se explotan minas subterráneas, canteras o minas a cielo abierto, lavaderos y desmontes.

Las minas subterráneas constituyen la principal forma de explotación y alcanzan el 92 por ciento del total de faenas y el 95 por ciento de la producción.

El 76 por ciento de las faenas se dedica a la extracción de cobre y abarca un porcentaje similar del total de la producción. Las minas de oro son en general de menor tamaño y alcanzan el 11 por ciento del mineral extraído.

Las minas se extienden entre la Primera y la Sexta Región, el mayor número de minas se ubican en la III y IV aunque se observa una gran dispersión en relación al tamaño de las minas.

La escasez de aguas en el Norte Minero determina una muy pequeña cantidad de lavaderos de oro que se distribuyen desde Copiapó hasta el extremo austral.

En 1906, Chile producía 26.000 toneladas métricas de cobre, logrando 100.000 toneladas en 1917 y 320.000 toneladas en 1929. De esta forma Chile se constituyó en el segundo productor de cobre del mundo (después de Estados Unidos), aportando cerca del 17 por ciento de la producción total del planeta.

Los recursos mineros chilenos se distinguen por la magnitud de sus reservas y su calidad. Esto permite, al nivel de explotación actual, alcanzar liderazgo mundial en algunos de sus productos

principales. En la siguiente ilustración se indica la posición de la minería chilena de cobre en el contexto mundial (12):

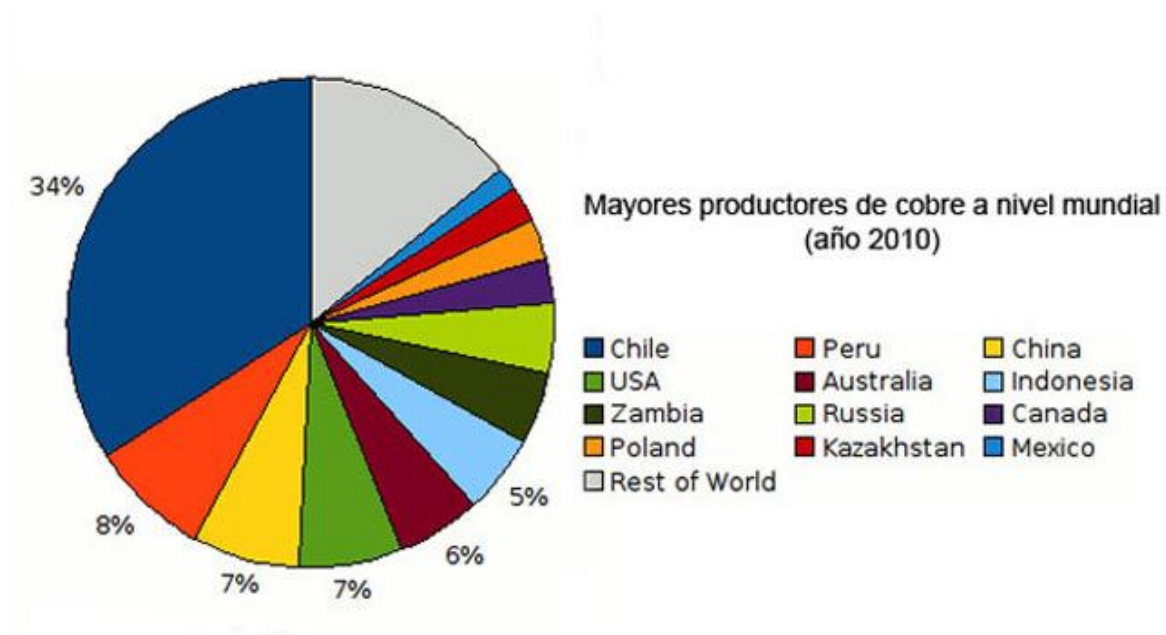


Ilustración 1 Mayores productores de cobre del mundo año 2010

2.2. Corporación Nacional del Cobre de Chile-Codelco

Codelco es el primer productor de cobre del mundo y posee, además, cerca del diez por ciento de las reservas mundiales del metal rojo.

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Posee activos propios por más de US 20.835 millones y un patrimonio que en 2011 ascendió a US\$6.065 millones. Codelco, en el 2011, produjo 1,79 millón de toneladas métricas de cobre refinado (incluida su participación en el yacimiento El Abra). Esta cifra equivale al 10% de la producción mundial. Su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A

La compañía ejecuta sus operaciones a través de seis divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, que pertenece a Codelco desde mayo de 2005. Su estrategia corporativa es coordinada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile.

La Corporación participa además en la propiedad de importantes empresas mineras, como Minera Gaby SpA., donde posee el 100% de la propiedad, y como El Abra, en la que posee el 49%; y otras asociaciones mineras orientadas a la explotación geológica, tanto en Chile como en el exterior.

La Corporación es encabezada por un Directorio con nueve integrantes (13).

Codelco se encuentra conformado por los siguientes centros operativos a lo largo del territorio chileno ubicados entre la región de Antofagasta y la región del Libertador General Bernardo O'higgins; y son:

- División Andina
- División Chuquicamata
- División El Teniente
- División Gabriela Mistral
- División Ministro Hales
- División Radomiro Tomic
- División Salvador
- División Ventanas

2.3. Marco Institucional

Las instituciones y organismos que regulan la Actividad Minera en la República de Chile son las siguientes:

- **Ministerio de Minería:** El Ministerio de Minería tiene la misión de generar, fomentar, difundir y evaluar las políticas y normas que optimicen el desarrollo minero sustentable del país, maximicen su aporte al desarrollo económico social y consoliden su liderazgo internacional. Los objetivos estratégicos del Ministerio de Minería son: Fomentar el desarrollo sustentable de la minería nacional, generar instancias de participación conjunta del sector público y privado para estimular el crecimiento sectorial y nacional, asistir a la pequeña minería artesanal, modernizar el marco regulatorio del sector minero, y la institucionalidad pública sectorial, consolidar el liderazgo minero internacional de Chile y administrar eficaz y eficientemente sus recursos para cumplir sus tareas.
- **Corporación Nacional del Cobre de Chile-Codelco:** es la empresa nacional primer productor de cobre del mundo, es propiedad del Estado de Chile y su negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de los recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlo en cobre refinado y su comercialización.
- **Cochilco (Comisión Chilena del Cobre):** La Comisión Chilena del Cobre es un organismo técnico especializado que se identifica con la acción rectora del Estado en el desarrollo de la minería chilena. Su misión consiste en elaborar, proponer y facilitar la implementación de políticas, estrategias y acciones que promuevan el desarrollo permanente y sustentable del sector minero público y privado, en el marco de una economía globalizada y altamente competitiva.
- **Empresa Nacional de Minería (ENAMI):** ENAMI es una entidad pública que tiene por objeto fomentar el desarrollo de la minería de pequeña y mediana escala, brindando los servicios requeridos para acceder al mercado de metales refinados, en condiciones de competitividad.
- **Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN):** Las principales funciones de esta dependencia gubernamental se centran en la elaboración de la Carta Geológica Básica de Chile y de las cartas temáticas relacionadas con la investigación Magnética, Metalogénica, Hidrogeológica; de Suelos de Fundación (geotecnia); de Riesgos Geológicos y Volcánicos e investigaciones de geología submarina.

2.4. Marco Legal

La industria minera en Chile se basa en tratados internacionales, leyes, normas y reglamentos que son aplicables, obviamente, a Codelco y que deben cumplirse obligatoriamente.

El marco legal minero chileno está constituido por:

- Constitución Política de 1980, Art. 19, Art. 582, Art. 591 entre otros.
- Ley orgánica de Minería
- Código de Minería
- Reglamento de Seguridad Minera.
- Guía Metodológica de Seguridad Para Proyectos Mineros de Rajo Abierto.
- Guía Metodológica de Seguridad Para Proyectos Mineros Subterráneos.
- Guía Metodológica de Seguridad Proyectos Mineros de Planta de Procesamiento de Minerales.
- Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos de Tranques de Relaves.
- Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos de Plantas de Lixiviación, Extracción por Solventes y Electroobtención para Minerales de Cobre.
- Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos de Plantas de Lixiviación de Minerales No Cupríferos.
- Declaración Universal de los Derechos Humanos de la Naciones Unidas. (ONU)
- Derechos del Niño de las Naciones Unidas.
- Convenio 138 de la Organización Internacional del Trabajo
- Resolución N169 de la OIT sobre pueblos indígenas
- PACI (Partnering Against Corruption Initiative – Iniciativa Conjunta contra la corrupción), del Foro Económico Mundial, 2005.
- GRI (Global Reporting Initiative – Iniciativa Global de Reportes), información sobre Sustentabilidad.
- Código de Trabajo y leyes Suplementarias.
- Ley 19.300 General de Bases de Medio Ambiente y normativa relacionada. Estándares y Normas ISO y OHSAS.
- Políticas Corporativas.(CODELCO, 2012)

2.5. Marco Ético

El presente proyecto de investigación, a realizarse en la Corporación Nacional del Cobre CODELCO Chile, en la División Radomiro Tomic - Mina Radomiro Tomic, no afecta sus intereses sino que respeta los principios y valores de la comunidad más cercana que es la Ciudad de Calama, sin existir afectación al medio ambiente. (CODELCO, 2012).

El presente trabajo se enmarca en los códigos empresariales de CODELCO, representados por:

Misión

Desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado. Codelco llevará a cabo su misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación creativa y el conocimiento de las personas en permanente desarrollo. (CODELCO, 2012)

Visión

El cobre es y seguirá siendo un material indispensable en el desarrollo sustentable de la humanidad durante el siglo XXI y pilar de la economía nacional. Codelco, empresa 100% estatal, liderará la creación del valor y competitividad de la industria, aspirando a lograr, en el largo plazo, la meta del 50% de la producción y comercialización de cobre en Chile, potenciando su preminencia como principal productor mundial de metal.

Con el compromiso permanente de todos nuestros trabajadores, la alianza estratégica es un elemento fundamental para la consecución de altos estándares de calidad que nos permiten crear valor para el estado, los trabajadores, los clientes, los proveedores y las comunidades.

Codelco liderará la opción estratégica de que la minería en Chile, sea un palanca clave en el impulso de un modelo de desarrollo nacional sustentable, proponiendo a que la minería en el país exporte todo el cobre como refinado (CODELCO, 2012)

Propósito

Mantenerse como productor a nivel mundial de bajo costo y alta calidad, actuando con responsabilidad ecológica. Desarrollar Relaciones Laborales participativas, a través del involucramiento activo de los trabajadores y de sus organizaciones sindicales en la estrategia de desarrollo y de mejoramiento de la gestión empresarial, en el marco de una organización del trabajo horizontal, flexible y exenta de autoritarismos, que incentive la humanización, productividad del trabajo y compromisos de beneficio mutuo.

Incorporar nuevas reservas mineras económicamente explotables, ya sea como nuevos proyectos o para efectos de reposición de los yacimientos en actual explotación (CODELCO, 2012)

Carta de Valores

- El respeto a la vida y dignidad de las personas es un valor central. Nada justifica que asumamos riesgos no controlados que atenten contra nuestra salud o seguridad.
- Trabajar en Codelco es un orgullo, una gran responsabilidad y un enorme compromiso.
- Valoramos y reconocemos a los trabajadores competentes, con iniciativa y liderazgo, que enfrentan los cambios con decisión y valentía.
- Fomentamos el trabajo en equipo, la participación responsable y el aporte que proviene de la diversidad de experiencias y de las organizaciones de trabajadores.
- Perseguimos la excelencia en todo lo que hacemos y practicamos el mejoramiento continuo, para estar entre los mejores de la industria.
- Somos una empresa creativa, que se apoya en la innovación para generar nuevos conocimientos, crear valor y acrecentar nuestro liderazgo.
- Estamos comprometidos con el desarrollo sustentable en nuestras operaciones y proyectos. (CODELCO, 2012)

Codelco Radomiro Tomic realiza sus actividades bajo el Código de Conducta de Negocios y el Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad Codelco Chile, División Radomiro Tomic.

2.6. Marco Referencial

2.6.1. Antecedentes



Ilustración 2 Primera voladura Radomiro Tomic (RT)

La Mina Radomiro Tomic (RT) explota a cielo abierto un yacimiento pórfido-cuprífero, operación de la que obtiene minerales oxidados y actualmente también sulfuros. Aunque este yacimiento fue descubierto en la década de 1950, sus operaciones comenzaron en 1995, después de que Codelco actualizó los estudios sobre la factibilidad de su explotación y contó con la tecnología necesaria. A partir de abril de 1998 comenzó su operación en régimen.

La planta de beneficio que procesa el mineral de RT está diseñada para una producción anual de 300.000 toneladas de cátodos de cobre.

En junio de 2010, el entonces centro de trabajo Radomiro Tomic puso en marcha el proyecto Sulfuros RT Fase I, que significó implementar un chancador primario y una correa overland de 8.5 km de extensión, que conectó los minerales de RT con la concentradora de Chuquicamata, alcanzando un promedio de 70.000 toneladas de cobre fino en los concentrados pertenecientes a la División.

Cabe destacar que durante el 2010, la División Radomiro Tomic por segundo año consecutivo sobrepasó las metas de producción, alcanzando un total de 309.400 toneladas de cátodos de cobre fino, superando la meta de 304.705 toneladas planificadas y superando en más de 1.700 toneladas a la producción de 2009. Esta cifra es sólo considerando la producción hidrometalúrgica de cátodos.

En el 2011 y con 16 años de existencia, Radomiro Tomic se convirtió en la División más productiva y eficiente de Codelco Chile, aportando el 32% de los excedentes que la Corporación entrega al Estado (13).



Ilustración 3 Vista aérea Mina RT

La inversión de grandes esfuerzos para lograr la madurez de esta operación obedece a que las reservas oxidadas han iniciado su ciclo de agotamiento. De acuerdo al Plan de Negocio de Radomiro Tomic, los óxidos se agotan totalmente en el 2017. Sin embargo, la naturaleza ha sido muy generosa con esta División y hasta el momento se cuenta con recursos estimados en cinco mil millones de toneladas de sulfuros con una ley media de 0.45% de cobre.

Las reservas son del orden de 1.800 millones de toneladas de sulfuros de ley promedio de 0.5% de cobre. Gran parte de éstas serán beneficiadas metalúrgicamente en las concentradoras de Chuquicamata, complementando sus niveles de procesamiento con volúmenes estimados en 60.000 toneladas por día; y proyectando aumentar dicha cifra durante los años que involucra el cambio a minería subterránea que vivirá la División Chuquicamata.

Las cifras anteriores indican que los niveles de reservas son suficientes para copar las capacidades de Chuquicamata y de una concentradora en RT. Trasladando 60.000 toneladas diarias hacia la concentradora de Chuquicamata o incluso 100.000 hasta el 2038, aún quedan remanentes de sulfuros del orden de casi mil millones de toneladas. En este contexto, para poder consumirlas se desarrolla el Proyecto Sulfuros RT Fase II, que proyecta un volumen preliminar de procesamiento de 200.000 toneladas por día; por supuesto, la capacidad final de la concentradora requerida será materia de las ingenierías y los diferentes escenarios que se estudian (13).

Para el suministro del agua que requiere este proyecto, se evalúan dos posibilidades: a) desalarla en la costa o b) utilizar agua salada. Actualmente, se realizan los estudios de trade off, para los cuales se han considerado factores, como: el procesamiento y recuperación de molibdeno, que aparentemente es más conveniente tratarlo con agua desalada.

El diseño del proceso considera una concentradora de última generación; por ello, indudablemente, los relaves proyectados corresponden a relaves espesados. Si bien dicha definición aún es materia de análisis, el estado del arte en este orden indica que entre un relave espesado y uno tradicional hay ventajas significativas en ahorro del vital elemento (agua) y, por lo tanto, el diseño considera el manejo de sus relaves con un 68% de sólido. Por otra parte, un diseño de relaves espesados es bastante más amigable ambientalmente.

El diseño preliminar considera producir concentrados; sin embargo, este diseño no resuelve la capacidad ociosa de la planta, EW, derivado del agotamiento natural de los recursos lixiviables. Debido a esto, se está impulsando, en forma paralela o simultánea, el desarrollo de algunas nuevas tecnologías, que permitan lixiviar el concentrado y aprovechar las capacidades de la actual planta EW.

Adicionalmente, se impulsa otras iniciativas correspondientes a desarrollos tecnológicos que sean factibles técnica y económicamente, para lixiviar sulfuros primarios. Así, se desarrolla una prueba industrial para biolixiviar calcopirita, actualmente se tiene en operación una planta industrial prototipo que permite inocular bacterias y verificar la lixiviación directa en pila de los sulfuros primarios. Estas pruebas se han realizado en otras operaciones mineras, con resultados diversos y en Radomiro Tomic se han desarrollado algunas bacterias propias, que podrían dar mayor posibilidad de éxito.

Lo relevante es alcanzar buenos niveles de recuperación. La División tiene una alianza con Biosigma y un proyecto para los próximos 3 años. Si eso funciona, se podría biolixiviar los sulfuros primarios (esencialmente calcopiríticos) y eso sería un salto gigantesco no sólo para RT sino para la industria minera chilena.

En los próximos 4 ó 5 años, la producción de RT entre sulfuros y óxidos será alta (sobre 400.000 toneladas por año). Para el 2011, la meta fue de 444.000 toneladas, convirtiéndose en un referente

para Codelco como una de las divisiones que tiene los mayores aportes de cobre fino en la Corporación (13).

2.6.2. Ubicación de la Mina

La División Radomiro Tomic de Codelco-Chile está ubicada a 1.670 kilómetros de Santiago, en la Segunda Región Antofagasta, provincia El Loa, a 40 Km al norte de Calama, y a 250 Km al noreste del Puerto de Antofagasta, a una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar en la cordillera de Los Andes. Ver Ilustración 4 y Tabla 1.



Ilustración 4 Mapa de ubicación División RT

Área	Coordenadas UTM (m)	
	Norte	Este
Mina RT	7.542.000	512.000
Botadero de estéril Oeste	7.542.000	510.000
Botadero de estéril Este Norte	7.542.000	513.000
Botadero de estéril Este Sur	7.539.000	513.000
Acopios óxidos	7.544.000	512.000
Acopios sulfuros	7.545.000	512.000
Ripios de lixiviación	7.548.000	515.000
Depósito OBL (Dump)	7.545.000	511.000

Datum: WGS 84

Tabla 1 Coordenadas División RT

2.6.3. Vías de acceso y comunicación

El acceso principal a la faena RT se realiza a través de una vía asfaltada de 35 km que empalma con la ruta 21 que une la ciudad de Calama con la localidad de Chiu-Chiu. En la minera, los caminos interiores interconectan la mina y las instalaciones dentro de la zona del proyecto. Los caminos secundarios cuentan con una carpeta de rodado de grava chancada. Estos caminos son destinados al tráfico de camiones de la mina. No se considera la construcción de nuevos caminos o accesos adicionales a los ya existentes. Ver ilustración 5.

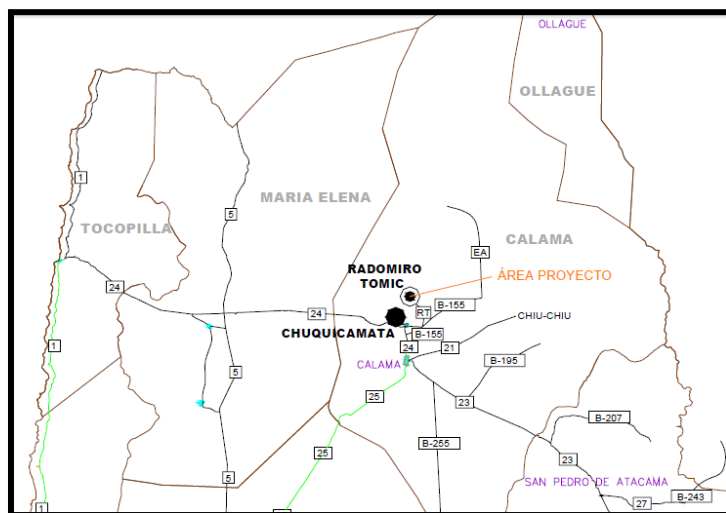


Ilustración 5 Rutas de acceso a División RT

2.6.4. Topografía y relieve de la región

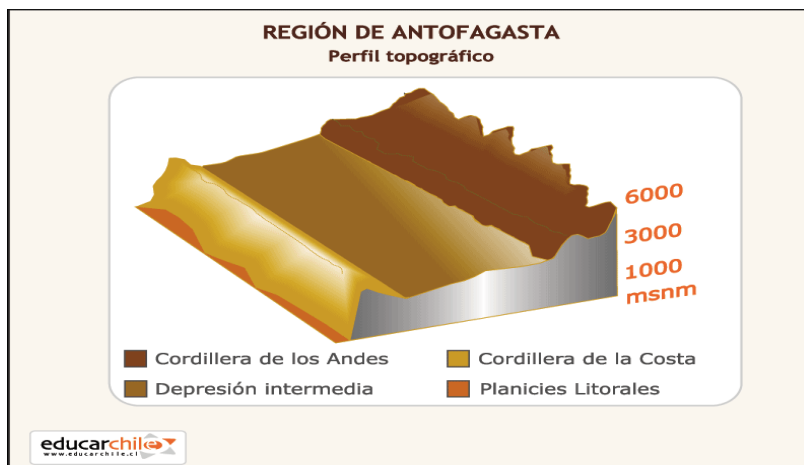
Las macroformas del relieve de la Región de Antofagasta se indican en la Ilustración 6 y son las siguientes:

Cordillera de los Andes: Se presenta alta, maciza, con marcado volcanismo y actividad geotérmica. Desde Los Andes surgen cordones montañosos hacia el Oeste como la Cordillera de Domeyko y la Cordillera de la Sal. Entre estos cordones se ubica el altiplano andino, que en su parte más alta (más de 5.900 msnm.) recibe el nombre de Puna de Atacama. Entre las mayores alturas de esta región sobresalen los volcanes Llullaillaco (6.739, msnm.) y Licancabur (5.916 msnm) Uno de los principales atractivos del altiplano en esta Región es el salar de Atacama, el tercero más grande de América y sede de uno de los ecosistemas más diversos de toda la Región. (7).

Depresión Intermedia: Se presenta como una amplia pampa desértica que al sur del río Loa es denominada “Desierto de Atacama”. (7).

Cordillera de la Costa: Se mantiene alta y continua, convirtiéndose en un biombo climático que impide el paso de los vientos húmedos provenientes desde el Pacífico hacia la Depresión Intermedia. Las mayores alturas de esta franja de relieve se ubican en la sierra Vicuña Mackenna, donde alcanza alturas que van entre los 1000 y 3.000 msnm. (7).

Planicies Litorales: Son estrechas, a excepción de la zona correspondiente a la península de Mejillones al norte de la ciudad de Antofagasta. Gran parte de la zona costera está ocupada por farallones costeros que descienden abruptamente hasta el mar. (7).



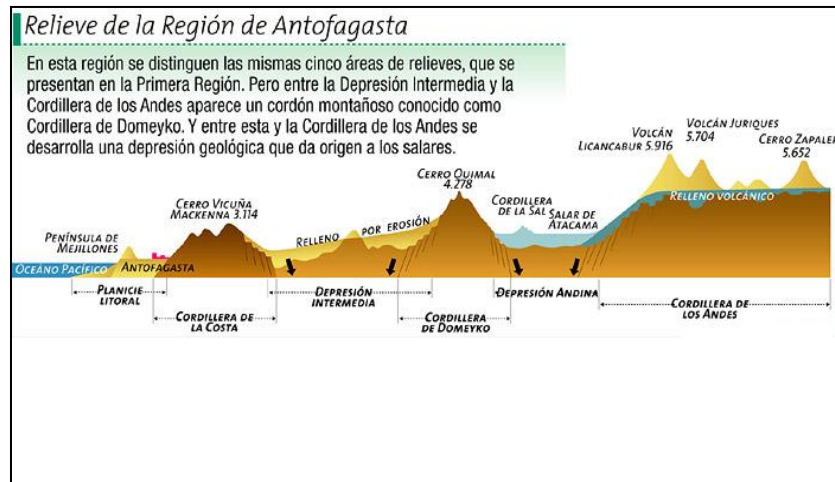


Ilustración 6 Perfil topográfico y Relieve de la R. Antofagasta

2.6.5. Clima, flora y fauna de la región

La Región de Antofagasta se caracteriza por tener suelos áridos, ausencia casi total de lluvias, escasa vegetación, altas temperaturas durante el día y bajas temperaturas durante la noche.

La escasez de lluvias durante el año y los bruscos cambios de temperatura durante el día y la noche, son un factor limitante para que la vida vegetal se desarrolle en plenitud; aún así algunos organismos pueden sobrevivir bajo estas condiciones.

Los vegetales de zonas desérticas tienen raíces extensas y superficiales para absorber el agua, que acumulan en tallos gruesos con forma cilíndrica o esférica, y están poco ramificados de manera que sea mínima la superficie del vegetal expuesta a la deshidratación (7).

Flora de la Región de Antofagasta:

Cacto Candelabro: Planta perenne, tallos carnosos redondos o aplanados, raíces extensas y superficiales para absorber el agua, superficie aspera, capaz de almacenar grandes cantidades de agua en su tallo, tienen espinas cortas y rígidas, las espinas sirven para defenderse de los animales del desierto que intentan tomar su agua para sobrevivir.

Tamarugo: Árbol que se encuentra en el Norte Grande, especialmente en la pampa del Tamarugal, donde sobrevive gracias al agua suministrada por los ríos subterráneos y por la neblina; alcanza 15 m de altura(7).

Pimiento: Árbol que en la actualidad, se encuentra en Perú, Bolivia y en la región desértica de Chile, especialmente en las zonas áridas. Alcanza una altura de 10 m. (7).

El Tolar Andino: Comunidad constituida por arbustos bajos de un metro de altura aproximadamente, acompañada de plantas herbáceas de entre 20 y 30 cm. (7).

Las especies de arbustos dominantes son las tolas y entre las numerosas especies herbáceas se destaca la chachacoma.

También se encuentran diversos tipos de cactáceas que al florecer acentúan la belleza del paisaje altiplánico.

El Pajonal Andino: Gramíneas perennes, de 60 a 80 cm y con crecimiento en champas aisladas, entre las que crecen hierbas más pequeñas. Las especies más frecuentes de gramíneas son la paja brava, usada en construcción de techos, y el iru. (7).

Los Bofedales: Sectores permanentemente húmedos donde se desarrollan conjuntos de vegetación muy densos, cuyos restos compuestos dan origen a un suelo orgánico profundo y turboso. Entre las especies más características se destacan el paco, la sora y el colipaco. El bofedal más notable es el de Parinacota, cuya alta productividad permite la existencia de una fauna abundante. Otra comunidad vegetal típica de este entorno, que ha debido ser protegida por estar en peligro de extinción, es la formada por la llareta, especie utilizada como combustible por su alto contenido resinoso. (7).

Fauna de la Región de Antofagasta

La Zona Norte es un paraíso para algunas aves, mamíferos e insectos que han desarrollado mecanismos de adaptación al clima, temperatura, y alimentación.

A continuación se describen los diferentes tipos de animales que a través de su evolución se han adaptado al Norte de Chile:

Tagua Gigante: Ave que se alimenta de plantas que crecen en el Bofedal y Lago Chungará. Corre por la superficie del agua y casi no levanta vuelo.

Flamenco Chileno: Ave de color rosado, de 1.2 m de altura, de pico corvado que filtra el agua para alimentarse de algas, moluscos y larvas de los lagos salinos.

Cóndor: Ave enorme, de hasta 3.5m , con sus alas extendidas, predador del Altiplano, vista aguda, se alimenta de carroña y aprovecha las corrientes de aire para volar.

Pelícano: Ave que habita en el Desierto Costero, anida en el desierto y se alimenta en la costa.

Alpaca y Llama: Camélidos que habitan el Altiplano, han sido domesticados y se usa su lana y carne y se los emplea para transporte. Se alimenta de plantas, está adaptado a las temperaturas variables y al poco oxígeno. (7).

Guanaco y Vicuña: Camélidos que habitan en clima seco, son salvajes y estaban en peligro de extinción, se alimentan de pasto. De la Vicuña se usa su fina lana. (7).

Vizcacha: Roedor que habita en laderas escarpadas, se alimenta de pastos y musgos, sus patas están adaptadas para saltar entre rocas. (7).

Quirquincho: Roedor que se alimenta de larvas y raíces; su caparazón se usa para un instrumento musical, el charango. (7).

Clima de la Región de Antofagasta:

La Región de Antofagasta posee los siguientes climas:

Desértico con nublados abundantes: Este clima presenta gran nubosidad, que aumenta durante el invierno. Pese a la latitud, en esta región la temperatura de sus aguas es baja, producto de la presencia de la corriente de Humbolt.

Desértico normal: Presente también en la región de Arica Parinacota y de Tarapacá, tiene grandes cambios de temperatura entre el día y la noche, condición que se intensifica debido a la altura alcanzada por Cordillera de la Costa que impide la influencia marina del Océano Pacífico. Registran 9°C de temperatura de diferencia entre el mes más cálido y el más frío.

Desértico marginal de altura: Este clima se presenta entre los 2.000 y 3.000 metros de altura. Al igual que en la región de Arica Parinacota y de Tarapacá, se registran precipitaciones durante los meses estivales o de verano, pero no todos los años. Debido a la altura, las temperaturas son más frías, pero con una oscilación térmica anual menor. La humedad relativa es muy baja.

Estepárico de altura: Se ubica por sobre los 3.000 metros de altura, donde comienza a aparecer la Puna de Atacama. Las temperaturas son muy frías, con precipitaciones en forma de nieve, llegando a formarse sectores de nieves eternas sobre los 5.800 metros de altura. Las precipitaciones también son ocasionales.

2.6.6. Aspectos socio-económicos de la población

La población más cercana a la División Radomiro Tomic es Calama, ubicada a 1.577 km al norte de Santiago, es considerada la capital minera del país. El pueblo de Chuquicamata se trasladó a Calama, por lo que la población aumentó con 15.000 habitantes.

Durante los años 50, la Ley 11.828 permitía a Calama recibir el 5% de los ingresos mineros, dinero que fue ocupado para construir importantes obras en ese tiempo hasta que en 1974 fue derogada.

Todos los ingresos que generan las minas Chuquicamata y Radomiro Tomic son enviadas por Codelco al gobierno central, para que a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), los destine a las ciudades de la región. Antofagasta se queda con el 40% de esos recursos (por ser capital regional y tener mayor población), Calama recibe el 17%.

Calama posee 150.000 habitantes, a los que se suma una población flotante de 40.000 personas.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El presente proyecto de investigación es un estudio descriptivo, prospectivo y transversal.

Es descriptivo porque aborda todas las características geológicas del sector, las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, los parámetros de perforación y voladura, en especial las variables de perforación que permitirán mejorar la reportabilidad de los aceros de perforación y calcular su rendimiento.

Prospectivo debido a que los resultados obtenidos en el estudio serán aplicados a futuro.

Transversal porque este estudio se lo va a desarrollar en un período de seis (6) meses.

Este, como todo estudio, comprende las siguientes etapas:

Trabajo de campo: Consiste en la observación, descripción y levantamiento de datos del proceso de perforación, en especial del cambio de aceros.

Trabajo de gabinete: Consiste en ordenar, tabular y elaborar la información obtenida en el campo. Para cumplir con este trabajo se necesitan técnicas, herramientas y programas de computación y métodos estadísticos para calcular el rendimiento de los aceros, datos que ayudarán a determinar el costo real de un metro de perforación.

3.2. Universo

Para realizar este proyecto de investigación se ha seleccionado como universo la División Radomiro Tomic de la Corporación Nacional del Cobre, CODELCO-Chile, empresa que realiza actividades de explotación minera en la República de Chile, II Región de Antofagasta, Provincia del Loa, Comuna Calama.

3.3. Muestra

La muestra para este estudio es la actividad de cambio de aceros en el proceso de perforación de la Mina RT, seleccionada de acuerdo a los siguientes criterios de inclusión:

- 1) Los datos que ingresan los operadores de las perforadoras sobre el cambio de aceros no son los suficientes y en ocasiones no son los correctos.
- 2) Deficiente reportabilidad del cambio de los aceros de perforación.
- 3) Desconocimiento de la vida útil de los aceros de perforación.
- 4) Variación mensual del costo de metro perforado.

Por las razones que se manifiestan anteriormente, la actividad de cambio de aceros en el proceso de perforación ha sido seleccionada como muestra del presente trabajo, de tal manera que se puedan encontrar las debilidades o fallas del sistema y proponer su mejoramiento, logrando optimizar la reportabilidad.

3.4. Técnicas

Las técnicas que se aplicarán para la toma de datos, se apoyarán en observaciones en el terreno (in situ), y en la forma como manejan el programa los operadores de las perforadoras.

Se verificará el funcionamiento del sistema de control Mineops y TotalView, para determinar que efectivamente los datos se registran en la base de datos.

Se realizará un muestreo de los aceros de perforación para calcular su vida útil, los datos del muestreo se los registrarán en una matriz en Excel.

Se tomarán datos registrados en el sistema de control para analizarlos y se los ordenará en un cuadro en Excel.

CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA

4.1. Geología Regional

La geología regional registra gran parte de la evolución de la Precordillera de los Andes desde el Paleozoico hasta la actualidad, y muchos de los elementos utilizados para construir esta historia afloran en las cercanías del área de estudio.

La historia Post-Oligoceno Inferior, representada por el desplazamiento sinistral a través del Sistema Falla Oeste que en el área de Chuquicamata está representado por la traza principal de la Falla Oeste, ha puesto en contacto dos bloques tectónicos, uno occidental, constituido por la cobertura Mesozoica e intrusivos Cenozoicos y otro oriental, constituido por rocas Paleozoicas intrusivas y rocas Triásicas intrusivas y volcánicas, donde la evidencia de la cobertura Mesozoica se restringe a una pequeña franja de rocas sedimentarias calcáreas localizadas entre el Pórfido Chuquicamata y la Granodiorita Este (Faunes y otros, 2005).

De acuerdo a McInnes y otros (1999), los bloques puestos en contacto por la Falla Oeste han experimentado un desplazamiento vertical relativo de 600 ± 100 m. teoría que se basa en interpretaciones de perfiles con el termocronómetro (U-Th)/He en apatitos, donde el bloque occidental corresponde al sector levantado. Sin embargo Tomlinson y otros (2001b) plantean que regionalmente es el bloque occidental el que sufre un descenso de cerca de 500 m, tomando como referencia la posición actual del Complejo El Abra y del Complejo Intrusivo Fortuna, y con marcadores de referencia del Paleozoico y del Eoceno previos al desplazamiento de la Falla Oeste, por lo que la separación vertical calculada por McInnes y otros (1999) representaría un bloque alzado localmente. (2).

Lo mencionado anteriormente se puede ver en la Ilustración 7.

4.2. Geología Local

Rocas Intrusivas de Caja

Las unidades intrusivas del sector occidental, representan parte de los cuerpos intrusivos emplazados inmediatamente previo, durante y posterior a la Orogenia Incaica, como son el Complejo Diorítico Los Picos y el Complejo Intrusivo Fortuna los que intruyen a la cobertura Mesozoica-Cenozoica, y presentan una estrecha relación espacial entre sí. (2).

Complejo Diorítico Los Picos

Los Picos e intrusiones asociadas forman una serie de plutones alineados con una orientación NNWSSE que generalmente se encuentran al W del Complejo Fortuna, pero que también constituyen el principal “roof pendant” dentro de este último complejo. Intruyen a la Formación Icanche y a todas las rocas antiguas del área. Su composición varía desde dioritas y monzodioritas de color oscuro a monzodioritas cuarcíferas de color gris, más claras que las anteriores, y que constituyen la fase principal. También existen, en menor medida, monzonitas cuarcíferas, granitos y aplitas, que incluyen fases porfíricas. Los miembros más silíceos, en particular los pórfidos cuarzo monzoníticos, están asociados con alteración hidrotermal y mineralización de sulfuros.

La edad de estas intrusiones varía dentro del rango de 44-42Ma hasta 45Ma, según dataciones Kr-Ar en biotita y U-Pb en zircón (Ballard, 2002 y Tomlinson y otros, 2006a,b en Dilles 2008; Campbell y otros, 2006). (2).

Complejo Intrusivo Fortuna (CIF)

El Complejo Intrusivo Fortuna es un cuerpo plutónico compuesto de cuatro unidades principales, que en orden decreciente de edad son: Granodiorita Antena, Granodiorita Fiesta, Pórfido Aplítico Tetera, y Pórfido Granodiorítico San Lorenzo (Tomlinson y otros, 2001). Como conjunto, estos cuerpos intrusivos abarcan un área de aproximadamente 80 Km², intruyen rocas metavolcánicas asignadas a la Formación Cerro Empexa del Cretácico Superior y al Complejo Diorítico Los Picos, y están limitados al E por la Falla Oeste (Tomlinson y otros, 2001). Su composición varía en el campo de la monzodiorita cuarcífera – granodiorita – monzogranito (Dilles, 2008).

La edad de este complejo abarca desde los 39.5 Ma hasta los 37.8 Ma (Dilles, 2008), según dataciones U-Pb realizadas en zircones (TIMS y LA-ICP-MS), y otras edades compiladas de autores previos (ver referencias en Dilles, 2008).

Las profundidades de emplazamiento para el Complejo Fortuna, calculadas por el geobarómetro Al en hornblenda, indican presiones de $\sim 1.2 \pm 0.6$ kb, equivalente a profundidades de 4.8 ± 2 km

(Dilles, 2008). Este autor, indica que en base a la existencia de inclusiones fluidas ricas en vapor de agua que coexistieron con inclusiones ricas en salmuera se pueden estimar presiones <1.4 kb. Esta profundidad de emplazamiento sería razonable para la parte central del complejo, basado en la presencia de abundantes brechas hidrotermales y al espesor calculado para las secuencias del Cretácico Superior y Eoceno Medio a las cuales intruye (Dilles, 2008). Tomlinson y otros (2001) en base al mismo método (Al – en Hornblenda) obtienen presiones de $0.5 - 1.7$ kb, equivalentes a profundidades de $2 - 6$ km para el Complejo Fortuna, las que serían consistentes con las texturas hipabisales de los intrusivos, el metamorfismo de facies hornfels de baja presión de la roca encajante, el emplazamiento local de los granitoides en rocas volcánicas extrusivas levemente más antiguas y la coexistencia de inclusiones fluidas ricas en vapor de agua con inclusiones fluidas hipersalinas (salmuera).

Según Dilles (2008) el Complejo Intrusivo Fortuna se emplazó a lo largo de una estructura críptica de orientación NNE-SSW, que también podría haber guiado la intrusión del Complejo Diorítico Los Picos. Las reconstrucciones tectónicas del desplazamiento de la Falla Oeste realizadas por Dilles y otros (1997) y Tomlinson y Blanco (1997a y b) se han basado en la correlación de estos intrusivos con los complejos localizados al E de la Falla Oeste a la latitud de la Mina El Abra, las que han sido confirmadas por Tomlinson y otros (2001), Campbell y otros (2006) y Dilles (2008) basados en la similitud de eventos intrusivos, distribución, edad y química. Las unidades intrusivas del sector oriental representan a bloques tectónicos pertenecientes al basamento de la Precordillera. Dentro de estas unidades, se destaca la Granodiorita Elena, debido a que está intruida por el Pórfido Chuquicamata tanto en la Mina RT como en la Mina Chuquicamata. (2).

Granodiorita Elena

RENZETTI (1957) (en Aracena, 1981) define la Granodiorita Elena como un cuerpo intrusivo elongado en sentido N-S ubicado entre el Pórfido Chuquicamata, por el W, y la Granodiorita Este, por el E. Según Ambrus (1979, en Herrera, 2008) corresponde a un “Stock” granodiorítico de color gris rosa y con textura hipidiomórfica granular con desarrollo de facies porfídicas marginales alteradas, pobremente mineralizadas y estrechamente relacionadas con el Pórfido Chuquicamata, que intruye a las volcanitas de la Formación Agua Dulce (Permo Triásico), por lo que le asigna una edad Eoceno-Oligoceno.

Según Aracena (1981), entre las coordenadas $5000-5600N$ y $2400-5200E$ (coordenadas internas CODELCO Norte), la granodiorita Elena se presenta como una roca de textura intermedia entre la Granodiorita Este y el Pórfido Chuquicamata, mencionando que dataciones recientes indican edades decrecientes de E a W que varían entre Jurásico, Cretácico y Terciario, característica que

representaría el efecto termal de la intrusión del Pórfido Chuquicamata en la Granodiorita Este. Posteriormente Ossandón y otros (2001) mencionan que la Granodiorita Elena es mineralógica y texturalmente similar a la variedad Pórfido Este (ver descripción más adelante) del Complejo Intrusivo Chuquicamata y que sus contactos son difusos.

Según Lindsay y otros (1995, en Ossandon y otros, 2001), al borde E de la Mina Chuquicamata, apófisis del Pórfido Este truncan localmente fábricas de deformación dúctil de tipo cizalla dextral en las unidades metasedimentarias y en la Granodiorita Elena, asociadas a la Zona de Falla Mesabi. Faunes y otros (2005) mencionan que el Pórfido Chuquicamata intruye a la Granodiorita Elena por el E y W, y que además son intrusivos muy similares macroscópicamente, siendo la única diferencia entre ellos la ausencia de macrocristales de feldespatos potásico en la Granodiorita Elena. Faunes y otros (2005) indican que información nueva del modelamiento geológico de la mina Chuquicamata del año 2003, permite trazar con confianza el contacto entre la Granodiorita Elena y el Pórfido Chuquicamata en el sector E y SE de la Mina Chuquicamata, definiendo una zona de contacto denominada “East Deformation Zone” (Zona de Deformación Este). En cambio, en el extremo NW del depósito Chuquicamata, la Granodiorita Elena es reconocida como una cuña estructural entre el Pórfido Chuquicamata y el Complejo Intrusivo Fortuna, limitada al W por la Falla Oeste y hacia el E por la Falla Kala (Faunes y otros, 2005). Proffett (2006) menciona que la roca presente en ese sector (cuña estructural) es una granodiorita gruesa con características similares a la fase de grano grueso de la Granodiorita Este y a algunas fases de la Granodiorita Elena, indicando que el contacto W con el Pórfido Chuquicamata se encuentra hacia el norte de ese sector, bajo depósitos aluvionales en el área de Chuqui Norte (Distrito RT). Ballard (2001, en Faunes y otros, 2005) y Ballard y otros (2002) datan la Granodiorita Elena por el método U-Pb (ELAICP-MS) en circones, obteniendo una edad de 37.7 ± 1 Ma. Esta edad, sumada a la cercanía espacial, tipos de contactos y similitudes texturales y mineralógicas lleva a Faunes y otros (2005) a mencionar que la Granodiorita Elena podría representar un cuerpo precursor del Pórfido Chuquicamata. Proffett (2005a, en Proffett, 2006) indica que en la Mina Carmen la Granodiorita Elena es intruida por el Pórfido Este, y su contacto es de orientación N-S a NNW-SSE. Además los contactos hacia el E con rocas volcánicas antiguas parecen ser mayoritariamente fallas y zonas de cizalla dúctil, sin embargo existen inclusiones y “roof pendants” de pórfidos máficos, diabasas y rocas volcánicas andesíticas en el cuerpo principal de la Granodiorita Elena. Tomlinson y otros (2001) obtienen edades U-Pb (TIMS) en circones de 227 ± 2 Ma, en rocas que generalmente han sido mapeadas como Granodiorita Elena al E del rajo Chuquicamata. Según Proffett (2006), la edad obtenida por Ballard (2001, en Faunes y otros, 2005) corresponde a una localidad ubicada cerca de 1 km hacia el NNE de la localidad datada por Tomlinson y otros (2001), lo que habría llevado a este último a registrar dos unidades

litológicas en el mapa, una Terciaria, en contacto con el Pórfido Chuquicamata, y otra Triásica, mencionada como una fase porfírica de la Granodiorita Este, aunque este contacto no se ha registrado en el terreno. Proffett (2006), describe para el área de la Mina Carmen dos variedades para la Granodiorita Elena, una al W (Western Granodiorita Elena, WGDE), que contiene más cuarzo y feldespato potásico, y otra con menor contenido de plagioclasa y minerales máficos que la variedad localizada más hacia el E (Eastern Granodiorita Elena, EGDE). La primera, cerca del contacto con el Pórfido Este, presenta una débil foliación de cizalla, y todos los minerales máficos son biotita, que incluye grandes granos de biotita primaria y clusters de biotita de grano fino posiblemente formados por alteración de la hornblenda. En cambio, en la variedad del E, la roca se encuentra menos foliada, y contiene hornblenda fresca y parcialmente biotitizada, así como biotita primaria. Según Proffett (2006), todavía no ha sido mapeado un contacto entre las dos unidades y existen tanto evidencias que soportan la posibilidad que sean dos unidades diferentes como que sean ambas una misma unidad.

Proffett (2008, comunicación escrita EMSA) realiza dataciones U-Pb (SHRIMP) en zircones para las unidades mapeadas del área Mina Carmen, registrando edades de 233.1 ± 2.2 Ma para la variedad WGDE, y 231.4 ± 2 Ma para la variedad EGDE. Según el autor, por relaciones observadas en el terreno, la unidad mapeada más hacia el E (EGDE) sería más antigua que la unidad del W (WGDE), sin embargo los resultados radiométricos indican un traslape de las edades entre 229 y 235 Ma. Estas últimas dataciones resuelven en parte la discusión sobre la edad de la Granodiorita Elena, evidenciando claramente que la edad de su intrusión es Triásica, pero dejando abierta la discusión sobre la edad reportada por Ballard (2001, en Faunes y otros 2005 y en Proffett, 2006) y por Ballard y otros (2002), que corresponde inequívocamente al Eoceno.

En el área de RT, Cuadra y otros (2001) indican que hacia el E, el Pórfido Chuquicamata está en contacto con una intrusión de grano grueso, denominada Granodiorita Elena, mientras que Díaz y otros (2009) mencionan que a ambos lados del Pórfido Chuquicamata en la Mina RT se encuentra la Granodiorita Elena, lo que ha sido reportado recientemente los geólogos de EMSA, confirmando que a ambos lados del Pórfido Chuquicamata en la Mina RT se encuentra la Granodiorita Elena. (2).

Complejo Porfídico Chuquicamata

Se conoce como Complejo Porfídico Chuquicamata (“Pórfido Chuqui” o Pórfido Chuquicamata) al conjunto de pórfidos granodioríticos y monzograníticos alterados que constituyen la roca huésped (encajante) de la mineralización en la Mina Chuquicamata (Aracena, 1981). Tiene una forma elongada en sentido N-S (Aracena, 1981) a NNE-SSW (Faunes y otros, 2005) y es de carácter subvertical a levemente manteando hacia el W, como un stock intrusivo tipo dique de dimensiones

cercanas a 14 x 1,5 Km (Faunes y otros, 2005), abarcando el área comprendida entre los depósitos Chuquicamata y RT (Aracena, 1981; Ossandón y otros, 1997; Cuadra y otros, 1997; Ossandón y otros, 2001; Cuadra y Rojas, 2001; Faunes y otros, 2005). Este complejo, en la Mina Chuquicamata, está compuesto por tres variedades principales, a saber: Pórfido granodiorítico de masa fundamental intersticial, Pórfido monzogranítico de masa fundamental aplítica y Pórfido monzogranítico de textura porfídica doble (Aracena, 1981), previamente conocidos como Pórfido Este, Pórfido Oeste y Pórfido Banco, nombre que mantienen hasta la actualidad. Ossandón y otros (2001) menciona además la ocurrencia de un Pórfido de Textura Fina en la Mina Chuquicamata.

A la altitud de la Mina Chuquicamata, el Complejo Porfídico Pórfido Chuquicamata se encuentra limitado por la Falla Oeste hacia el W, que lo yuxtapone al Complejo Intrusivo Fortuna (Aracena, 1981; Reutter y otros, 1996; Ossandón y otros, 1997, 2001; Faunes y otros, 2005) mientras que en el flanco oriental está limitado por la Falla Portezuelo al SE y la East Deformation Zone por el E que lo ponen en contacto con la Granodiorita Este y metasedimentos (Faunes y otros, 2005). En el sector NE de la Mina Chuquicamata, el Pórfido Chuquicamata intruye con su variedad Pórfido Este a la Granodiorita Elena y a metasedimentos, truncando localmente zonas de deformación dúctil en estas rocas (Lindsay y otros, 1995 en Ossandón y otros, 2001). Hacia el NE, en el sector de la Mina Carmen, el Pórfido Chuquicamata intruye a la Granodiorita Elena, y su contacto puede ser trazado con una orientación NNW-SSE (Proffett, 2005b en Proffett 2006). En el área inicialmente denominada como Chuqui Norte (6.100N – 7.950N), Rojas (2001) describe la ocurrencia de las 3 variedades litológicas del Pórfido Chuquicamata reconocidas en la Mina Chuquicamata, intruyendo hacia el E a la Granodiorita Elena, y limitadas al W por la Falla Kala, que las pone en contacto con el Complejo Intrusivo Fortuna. Cuadra y otros (1997) y Cuadra y Rojas (2001) mencionan que las rocas presentes en el área de RT son esencialmente iguales a las del Pórfido Chuquicamata en la Mina Chuquicamata. La presencia de un bloque de litología similar a la Granodiorita Elena entre las fallas Oeste y Kala, en el sector NW de la Mina Chuquicamata ha sido interpretado por Proffett (2006) como la evidencia de que el contacto entre el Pórfido Chuquicamata y la roca caja hacia el W estaría bajo la cubierta aluvional hacia el distrito RT. Además, dado que la morfología del contacto entre el Pórfido Chuquicamata con la Granodiorita Elena en el sector oriental de la Mina Chuquicamata, en las cercanías de la Mina Carmen, es de orientación NNW – SSE, Proffett (2006) plantea la posibilidad de que siga la misma morfología en el sector occidental. De ser así, el Pórfido Chuqui tendría una morfología original NNW – SSE y la forma NNE – SSW planteada por autores previos sería evidentemente el efecto del desplazamiento dextral a lo largo de varias fallas posteriores de rumbo NE – SW (Proffett, 2006).

En el año 2003, durante la “Campaña de Caracterización de Sulfuros Secundarios del sector central de RT”, se reconoce una variedad nueva del Pórfido Chuquicamata y se adopta el nombre “Pórfido Fino” (Rubio, X., com verbal, Informe del proyecto “Sulfuros Secundarios de RT central, 2003). Desde esa fecha en adelante, esta unidad ha sido utilizada junto con las anteriores variedades del Pórfido Chuquicamata, descritas en la mina homónima, sin un claro consenso de su distribución real y de su relación con las otras variedades previamente descritas, llegando a constituir un problema para el modelamiento de las unidades litológicas de la Mina RT, ya que localmente, por sobre imposición de campañas de sondeos de distintas fechas, en una misma sección se han denominado como Pórfido Oeste, Pórfido Banco y Pórfido Fino a un mismo cuerpo intrusivo. Además, en el sector central de la Mina RT existe otra unidad litológica que ha sido denominada Pórfido Oeste en los mapeos de sondeos de la Campaña Quinquenio 2008-2009, sin saber si ésta es homologable directamente con la unidad del mismo nombre registrada en Chuquicamata. Finalmente, el Complejo Intrusivo Chuquicamata constituye el basamento triásico de la zona. (2).

Estructuras

A nivel Distrital (Chuquicamata – RT), existen dos sistemas de fallas maestras, a los cuales están asociados muchos sub-sistemas de fallas de importancia local. El Sistema de Falla Mesabi – Este, localizado al E de los depósitos Chuquicamata y RT, y la Falla Oeste, localizada al W de los mismos. Lindsay y otros (1996) han considerado ambas fallas como parte del Sistema de Falla Oeste, sin embargo no existe una relación genética clara entre ellos.

A continuación se presentarán los antecedentes estructurales existentes de la Mina Chuquicamata, basado en Faunes y otros (2005) y de la Mina RT, basado en Niemeyer (1998), Leiva y otros (2000) y Carrasco y Skarmeta (2010):

Distrito RT

Leiva y otros (2000) describen para el rajo RT entre los bancos 2915 y 2720 los siguientes sistemas de fallas:

Sistema Puri: Fallas persistentes y de gran extensión longitudinal. Se reconocen en el sector NW del rajo, con rumbos N 10° - 30° E y manteos 40°- 70° E. Sus rellenos son del tipo ‘sericita – cuarzo – limonita’, con espesores de 10 a 50 cm. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Tarar: Fallas que se ubican en el sector NW de la mina, inmediatamente al E del sistema Puri; es de rumbo N 30° E y manteo 80° E a subvertical, con relleno brechoso de ‘sericita – cuarzo – limonita’, con espesores de 5 cm a 5 m. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Ckalal: Sistema de fallas de traza discontinua que se reconocen en los sectores N y S del rajo. Controlan los “paleocanales” de grava exótica, presentan rumbo E – W y 70° de manteo tanto al N como al S, están rellenas del tipo ‘arcillas – óxidos de cobre’, con espesores de 3 cm a 5 cm. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Sima: Sistema de fallas de traza discontinua y escasa potencia de relleno. Se reconocen en el sector N del rajo, con rumbos N 60° W y manteo de 60° S. Sus rellenos son del tipo ‘arcilla – óxidos de cobre’, con espesores de 5 cm a 10 cm. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Kalatche: Fallas persistentes y de gran extensión longitudinal que se distribuyen en el sector central con un rumbo predominante de N 62° E y en el SE de la mina RT con un rumbo de N 38° E, debido a la intersección con las fallas del sistema Ckaari. A este cambio de rumbo de la traza se le denomina Sistema Karao. El manteo del Sistema Kalatche varía entre 66° - 86° E, con relleno de ‘cuarzo – limonitas de 50 cm a 2 m de potencia. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Karao: Las fallas de este sistema se encuentran en el sector E del rajo, son de rumbo N 30°E y manteo de 70° - 80° W, contienen de tipo ‘cuarzo – limonitas’ de 10 cm a 20 cm de espesor. A estas fallas se las denomina de “arrastre” del sistema Kalatche y se encuentran en contacto con las fallas Ckaari. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Ckaari: Las fallas de este sistema se caracterizan por su continuidad longitudinal y gran ángulo de manteo. Se ubican en el lado E del rajo, con rumbo N – S y manteo de 80° - 90° E y W, con relleno tipo ‘arcilla – limonita’ y espesores de 5 cm a 10 cm. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Corina: Actualmente presentan poca exposición en la mina, ubicándose en la parte central E con rumbo N 20° W y manteo 65° SW, con relleno tipo ‘arcilla – limonita’ de 3 cm a 5 cm de espesor. Ver Ilustración 8. (2).

Sistema Kala: Fallas reconocidas por sondajes orientados, se ubican en el borde occidental del yacimiento, constituyendo una zona de falla que provoca un salto topográfico de las gravas del orden de 50 m en la vertical. Se interpretan como estructuras subverticales de orientación N – S. Ver Ilustración 8. (2).

De acuerdo a estos sistemas estructurales, Leiva y otros, (2000) definen distintos dominios estructurales, que corresponden a un sector que presenta características estructurales propias y distintivas en lo referente a familias de estructuras y cuyos límites quedan definidos por la fuerte ocurrencia de las estructuras que lo conforman. (2).

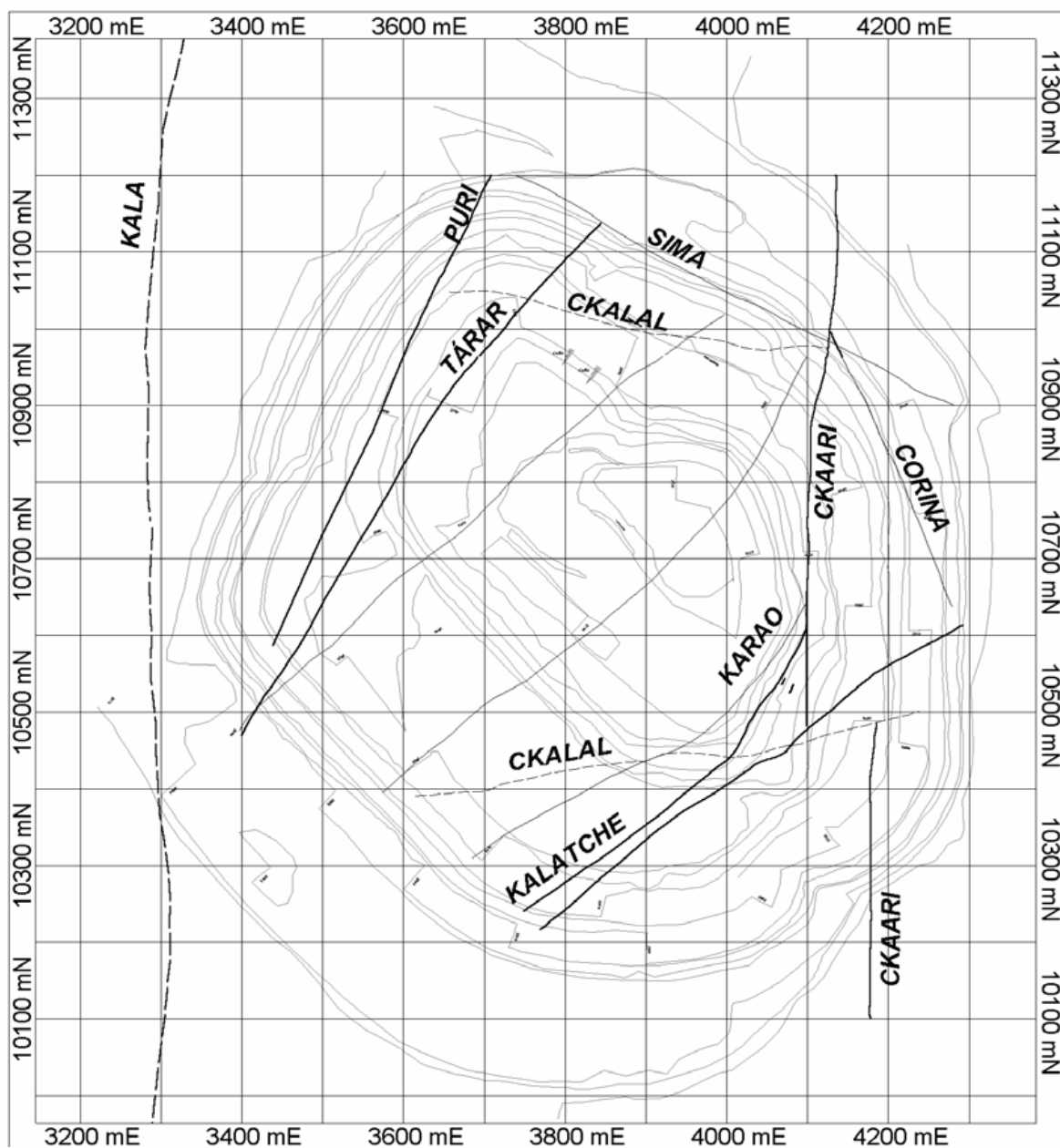


Ilustración 8 Esquema estructural de la Mina RT.

Dominio Kalatche: Se ha definido por la presencia de estructuras de similares características a la estructura mayor denominada Kalatche, Este dominio constituye uno de los rasgos estructurales más importantes del yacimiento, el cual se presenta en las paredes S, SE y NE del rajo, limitando al E con el Sistema Ckaari y por el W con el Sistema Kala. En el sector N está interceptado por el Sistema Sima. Este dominio se distribuye en una franja de orientación NE y constituye el eje principal de avance de la mina. Ver Ilustración 9. (2).

Dominio Ckaari: Se ubica en el sector oriental del yacimiento en una franja N – S de aproximadamente 50 m de potencia. Actualmente se observan afloramientos de estructuras pertenecientes a este dominio en la pared E del rajo, controlando la cara de algunos bancos. Ver Ilustración 9. (2).

Dominio Sima: Está constituido por estructuras discontinuas dispuestas en la pared N del rajo actual. La información obtenida a través de sondeos geotécnicos, más la interpretación estructural distrital, indica que este dominio tiene una amplia distribución hacia el N. Ver Ilustración 9. (2).

Dominio Falla Oeste – Kala: Se define por la presencia de una serie de estructuras mayores paralelas a la Falla Oeste, que generan una serie de bloques escalonados que provocan importantes saltos en el contacto grava – roca. Ver Ilustración 9. (2).

Según Leiva y otros (2000) y Niemeyer (1998) los sistemas estructurales de orientación N – S (fallas Kala y Ckaari) ubicados en los extremos W y E del yacimiento son asignados al Sistema Falla Oeste, con movimiento transcurrente – dextral y constituyen las fallas maestras que controlan tanto el emplazamiento del pórfido como la orientación de las estructuras y vetas dentro de éste, cuando el sistema se comportaba ya en forma frágil. Las estructuras NE, según Niemeyer (1998), representarían fallas dextrales de tipo R limitadas al espacio entre las fallas Puri y Ckaari, probablemente durante la etapa de enfriamiento del Pórfido Chuqui. El alto ángulo formado por estas fallas con respecto a las fallas de borde sería explicado por condiciones de fuerte transpresión (Naylor, 1986 en Niemeyer, 1998). Niemeyer (1998) plantea además que las fallas de orientación ENE-WSW podrían representar fallas tipo R', donde futuros trabajos permitirían dilucidar si se trata de estructuras R' rotadas.(2)

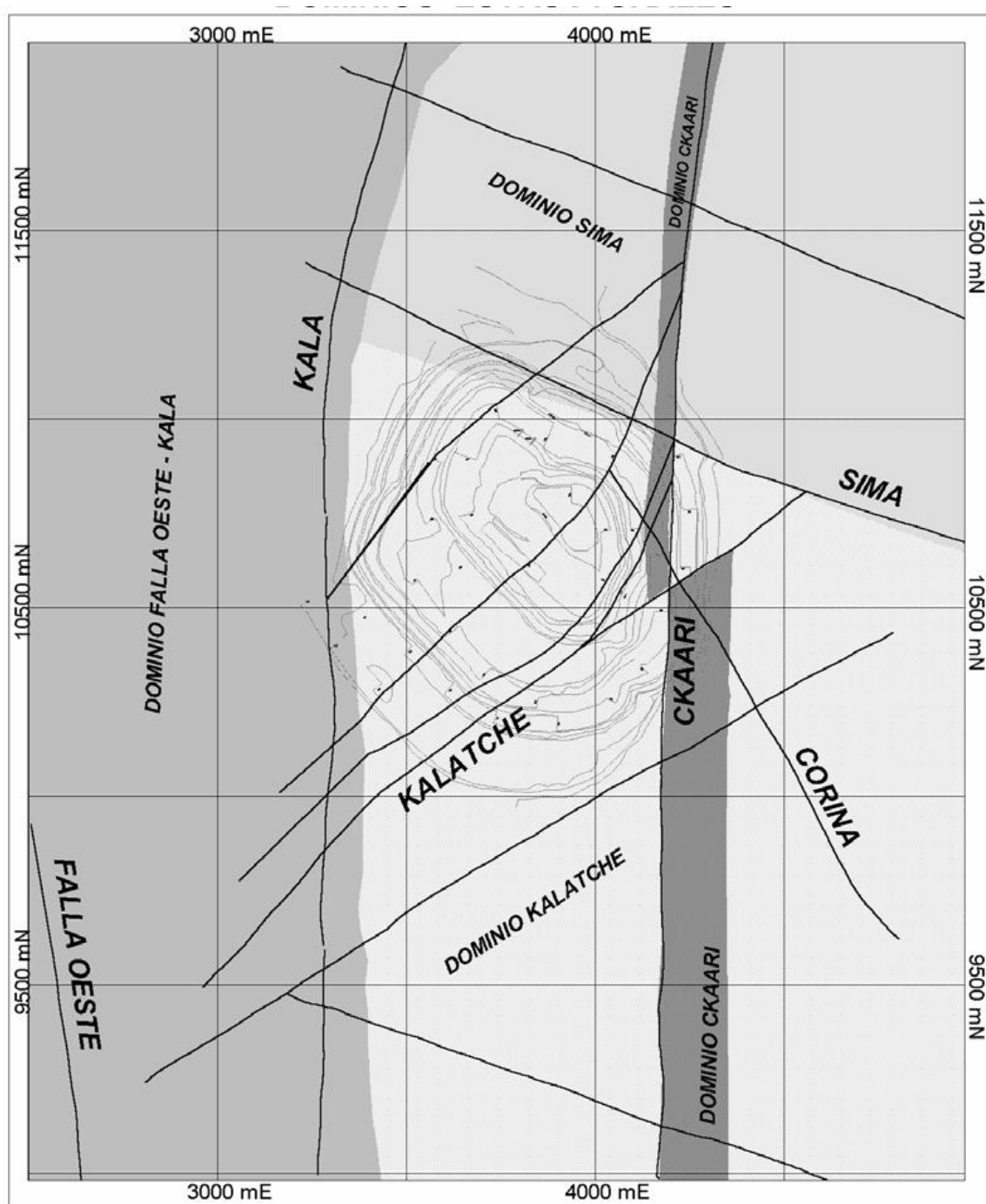


Ilustración 9 Esquema estructural distrital y dominios estructurales para el Distrito RT. Tomada de Leiva y otros (2000). Coordenadas internas Mina Chuquicamata – RT.

Es importante destacar que esta asociación al Sistema de Falla Oeste realizada por Niemeyer (1998) y Leiva y Otros (2000), está referida a la definición de Lindsay y otros (1996), que agrupa todas las estructuras tanto del Sistema Mesabi – Este (East Deformation Zone de la Mina Chuquicamata) como las fallas de orientación NE – SW y la traza de la Falla Oeste dentro de este sistema. Como ha sido mencionado anteriormente, durante la etapa de intrusión y eventos de alteración – mineralización tempranos a tardíos la Falla Oeste no estaba activa, y por ende no se puede asociar la estructura Kala genéticamente con la Falla Oeste. Es más probable que esté genéticamente ligada al sistema Mesabi – Este, o a la familia de estructuras NE-SW del área de Chuquicamata.

Trabajos recientes realizados por Carrasco y Skarmeta (2010) muestran que toda la mineralización en RT está alojada en estructuras de orientación NE – SW a NNE – SSW, asociadas al Dominio de Falla Kalatche. Estas estructuras controlan tanto la mineralización primaria asociada al evento potásico principal como mineralización asociada al evento sericítico de menor temperatura. Adicionalmente, estos autores indican la existencia de estructuras mineralizadas de orientación NW – SE localizadas en el dominio de estructuras Corina, al E del Dominio Ckaari que no habían sido descritas previamente.

Según Leiva y Valdés (2003), el sistema Sima de orientación NW – SE en RT se habría producido durante el Oligoceno Temprano, asociado a una inversión de los sistemas N – S de dextral a sinistral. (2).

Según estos autores, al final de la evolución geológica del Pórfido Chuquicamata (como sistema porfídico en sentido amplio), durante el Mioceno Inferior, contemporáneamente con la etapa de enriquecimiento supérgeno (Gropper y otros, 1994 – 1998, en Leiva y Valdés, 2003), los sistemas de estructuras se reactivaron en movimientos de fallas normales. Esto obedecería a esfuerzos de relajación, ocurridos con anterioridad a la depositación de las gravas que cubren el Pórfido Chuquicamata en la Mina RT. La relación entre las estructuras NW-SW mineralizadas del sector Corina y estas estructuras NW – SE asociadas al sistema Sima no ha sido aún descrita.

Algunas de las estructuras descritas en Chuquicamata han sido proyectadas hacia RT, indicando una continuidad distrital de las fallas NE – SW y NNE – SSW. Sin embargo, zonas de deformación dúctil no han sido informadas en la Mina RT en la actualidad. (2).

4.3. Geología del yacimiento

El yacimiento de RT es un pórfido cuprífero generado por el emplazamiento y desarrollo del Complejo Porfídico Chuquicamata, también denominado Pórfido Chuqui, emplazado por estructuras de rumbo Norte-Sur y Noreste que se asocian al sistema estructural de la Falla Oeste. El Pórfido Chuqui intruye a rocas granodioríticas, denominadas Granodiorita Elena y Granodiorita Fortuna las que afloran aledañas al rajo Mina RT. Ver Ilustración 10. (2).

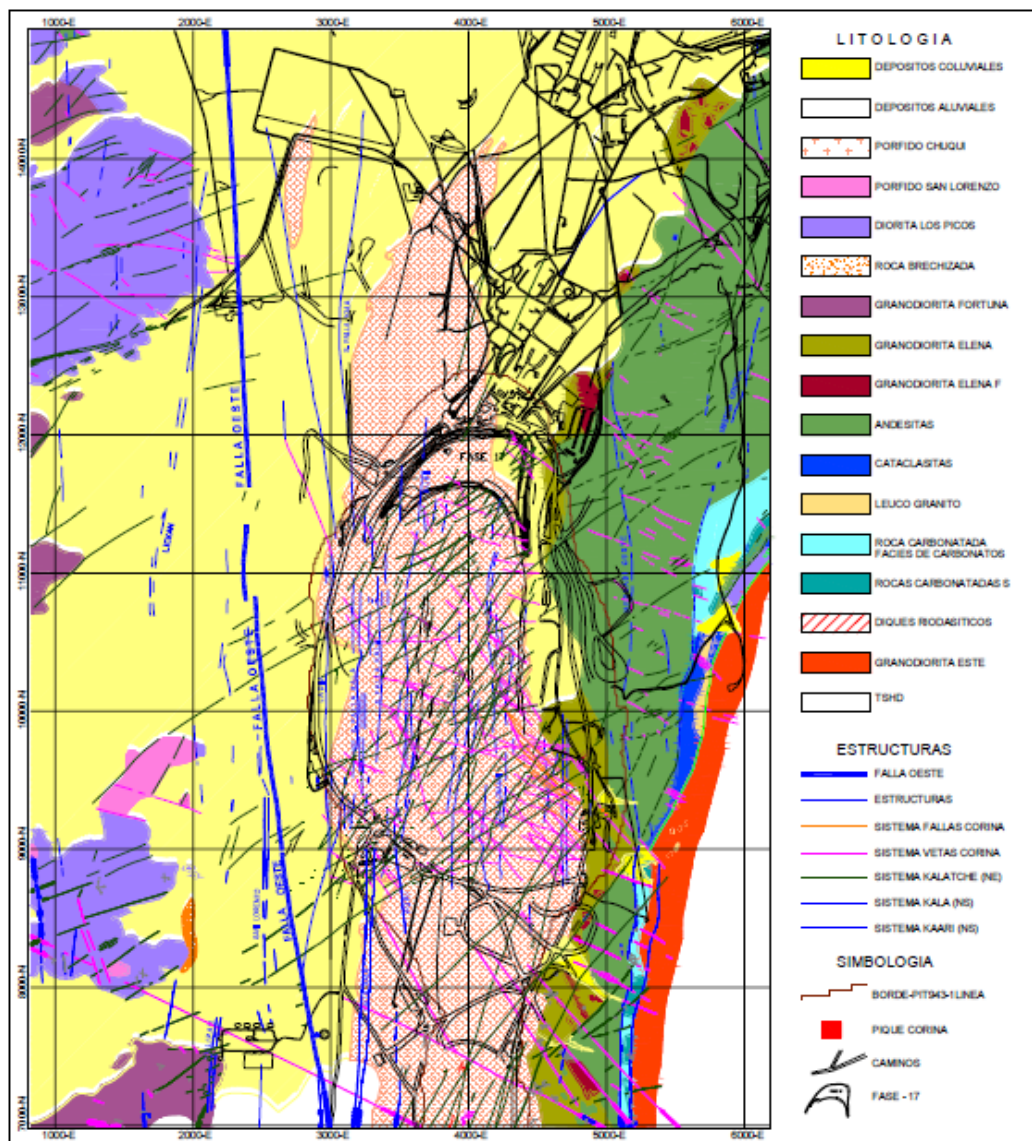


Ilustración 10 Esquema de geología distrital Mina RT

A continuación se describen las características de las principales unidades litológicas:

Complejo Porfídico Chuquicamata o Pórfido Chuqui:

Está constituido por 4 tipos de pórfidos, denominados: Pórfido Este, Pórfido Oeste, Pórfido Banco y “Pórfido Fino”. Estas son las unidades de rocas más importantes porque en ellas se desarrollaron los eventos que derivaron en la formación del yacimiento RT. El Pórfido Este es la unidad más destacada porque se distribuye ampliamente por toda el área de interés. De las restantes unidades de pórfidos, el denominado Fino es el más significativo por su distribución y porque su emplazamiento guarda relación con el desarrollo de la mineralización. Los otros pórfidos, Oeste y Banco, son de rasgos filoneanos y se distribuyen en forma muy restringida.

Aún persisten dudas acerca de la identificación de estas unidades, particularmente, cuando están afectadas por alteración hidrotermal. Las rocas que constituyen el Pórfido Chuqui, tienen una composición de granodiorita y monzogranitos. (2).

a) Pórfido Este: tiene amplia distribución en el yacimiento, se dispone como un cuerpo elongado en sentido norte-sur que alcanza dimensiones mínimas de 4 km de largo, entre las coordenadas 8.000N y 12.000N y de 1,2 km de ancho en promedio (planta cota 2600). Aparece intruyendo a la Granodiorita Fortuna y a la Granodiorita Elena, y es intruido por los pórfidos Oeste, Banco y Fino y, también por diques dacíticos. En secciones su emplazamiento muestra una tendencia subvertical, con leve inclinación hacia el Oeste (secciones 10500N, 10300N y 9500N). (2).

b) Pórfido Oeste: Corresponde a varios cuerpos intrusivos filoneanos que se emplazan en rumbo noreste y norte-sur siguiendo la tendencia estructural de las fallas y con leve manteo al Oeste. En planta (cota 2600) los cuerpos tienen corridas discontinuas, menores a 100 m, excepcionalmente alcanzan hasta 250 m. En sección, también se distribuyen de forma irregular en cuerpos tabulares largos (700 m) y cortos (70 m), sus potencias son en su mayoría de 5 a 10 m; de forma excepcional se reconoció un cuerpo de 70 m de ancho (sección 9500N).

Macroscópicamente en RT, el Pórfido Oeste se caracteriza por presentar una masa fundamental afanítica. (2).

c) Pórfido Banco: Esta es una unidad litológica que aún no ha sido suficientemente estudiada, especialmente su relación con la unidad denominada Pórfido Fino. Se ha dado la situación complicada de llegar a tener muestras con dos denominaciones distintas (Pórfido Banco y Pórfido Fino). Macroscópicamente en RT, el Pórfido Banco fue diferenciado por presentar 2 modas de

plagioclasa: en la primera ellas miden $\ll 1\text{mm}$, en la segunda miden 2-3mm. La otra característica es que las biotitas se presentan de manera fina tabular o de aproximadamente 4 mm y subhedrales. (2).

d) Pórfido Fino: Con este nombre informal se conoce a partir del año 2003 una unidad de roca de grano fino (más fina que el Pórfido Este). Se distribuye como stock dispuesto en varios cuerpos intrusivos filoneanos emplazados en el sector central y noroeste del yacimiento, entre las coordenadas 9.600 N y 11.200 N. En planta (cota 2600) se disponen con rumbo general norte-sur y noreste y en sección muestra actitud subvertical. En secciones se muestra la disposición de varios cuerpos en actitud subvertical y anchos que van desde los 20 m hasta alcanzar 200 m (secciones 10.300 N a 10.800N). Aparece intruyendo al Pórfido Este y es cortado por diques de Pórfido Oeste. (2).

e) Dacita: Las Dacitas corresponden a rocas de facies subvolcánicas. Estas rocas son de textura porfídica. Su mineralogía primaria corresponde a fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita. La masa fundamental presenta textura felsofídica, de grano muy fino su tamaño varía entre 0,002 a 0,2mm. La mineralogía de la masa fundamental está compuesta por cristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. (2).

f) Granodiorita Elena: Corresponde a un stock que se emplaza en la parte este de la Mina RT, donde es intruido por el Pórfido Este. Se dispone como una franja elongada de dirección aproximada Norte-Sur a Nor-Noroeste que se extiende fuera del área del yacimiento. Corresponde a una granodiorita equigranular, grano medio a grueso. Presenta biotita anhedral, pseudomorfos de hornblenda y ausencia de megacristales de feldespato-K, la roca se encuentra afectada por alteración clorítica. La edad para esta unidad es de 145 ± 15 m.a. y 122 ± 28 m.a. Es una unidad de roca de caja estéril. (2).

g) Granodiorita Fortuna: Corresponde a un stock intrusivo que se emplaza en la parte oeste de la Mina RT, donde es intruida por el Pórfido Este. Se dispone entre el Pórfido y la Falla Oeste, siguiendo la misma tendencia de la estructura. Es de composición granodiorítica a monzonítica, de color gris claro, es granular de grano grueso a medio, de textura hipidiomorfa granular, en parte porfídica. A medida que se acerca a la Falla Oeste presenta una textura cataclástica muy notoria. La edad para esta unidad es de $36,2 \pm 1,4$ m.a. y $38 \pm 0,3$ m.a. Esta unidad es roca de caja (estéril) del yacimiento. (2).

Estructuras:

La principal estructura que se reconoce en el distrito mineralizado de Codelco Norte es la Falla Oeste, de rumbo general Norte-Sur, al este de esta estructura se ha reconocido asociado a la Falla Oeste un sistema de fallas mayores que aparecen controlando el emplazamiento del yacimiento RT, denominados Kala y Cari, de orientación Norte-Sur, que parecen conformar un duplex tectónico. Además, se ha reconocido un sistema conjugado extensional de rumbo NE, denominado Kalatche, que parece controlar la canalización de estructuras mineralizadas; y, además un sistema conjugado compresional de orientación NW, denominado Sima y Corina que genera zonas de destrucción o daño estructural. (2).

En el yacimiento RT, el modelamiento estructural, permite observar una distribución principalmente de fallas subverticales en la parte central del sector comprendido entre las coordenadas 10.300N y 11.000N. Esta información se ve corroborada en el rajo con estructuras de actitud entre 70° y 90° que se asocian a importantes zonas con alteración sericitica tardía y mineralización supérgenica y mixta. Hacia los extremos occidental y oriental, algunas fallas muestran inclinaciones al E y W, respectivamente, con ángulos de hasta 50° medidos en el rajo. (2).

4.4. Mineralización

La mineralización que se presenta en RT:

Zona Lixiviada: Se distribuye ampliamente en la parte superior del yacimiento y localmente se extiende en profundidad, canalizada a través de estructuras, por lo que puede coexistir con zonas de óxidos y sulfuros de cobre. Se caracteriza por tener una moderada a fuerte presencia de goetita, hematina y menor jarosita. (2)

Zona de Óxidos: Corresponde a la zona de mena (óxidos de cobre) que actualmente está siendo explotada por la mina RT. Se encuentra entre la Zona Lixiviada y la Zona de Sulfuros o Mixtos. En los sectores superiores se reconoce principalmente atacamita y en profundidad está constituida por carbonatos (azurita y malaquita). (2).

Zona Mixta: Corresponde a la zona donde coexisten los óxidos de cobre y/o limonitas con los minerales de sulfuros. Su distribución areal es restringida y está controlada por estructuras que en algunos sectores se profundizan hacia las zonas donde predominan los sulfuros primarios.

Debido a que, los minerales oxidados disminuyen gradualmente en profundidad se forman dos subzonas de menas; una superior donde predominan los óxidos y una inferior donde prevalecen los sulfuros. La zona de mixtos fue definida utilizando la restricción de razón de solubilidad con valores dentro del rango 21 – 49 % de $\text{CuS/CuT} \times 100$. Estas zonas mixtas se profundizan unos 300 m, alcanzando la cota 2300. (2).

Zona de Enriquecimiento: Se caracteriza por la presencia de sulfuros secundarios siendo la calcosina el principal mineral de mena y subordinadamente la covelina. Estos minerales secundarios ocurren enriqueciendo los minerales hipógenos primarios y de acuerdo a su grado de reemplazo éste puede ser fuerte o débil. La definición corresponde a calcosina + covelina $\geq 65\%$ que representa un enriquecimiento fuerte y el rango entre 25 y 65 % de calcosina + covelina representa un enriquecimiento débil. Existe una clara gradación del enriquecimiento, desde fuerte o intenso disminuyendo en profundidad a débil. Los volúmenes más significativos de sulfuros se concentran entre las secciones 10.800N y 8.800N. (2).

Zona de Sulfuros Primarios: Corresponde a un clásico patrón de pórfido cuprífero, con un fuerte control estructural que canalizó los fluidos provocando la concentración de mineral en forma de franjas verticales. Se reconoce un núcleo central de mineralización primaria hipógena constituida por bornita-digenita, luego alejándose de este núcleo se genera la asociación calcopirita-bornita, más externamente la mena principal es calcopirita, la que disminuye progresivamente hacia los márgenes del yacimiento, donde marca el límite externo, coincidiendo con el halo de pirita, esta distribución se ve interrumpida por vetas tipo D de calcopirita y de pirita que se formaron por la acción de fluidos hidrotermales que penetraron y transformaron las menas preexistentes. (2).

Mineralización de Molibdeno:

La mineralización de Molibdeno representa el principal subproducto de los recursos de cobre en el yacimiento, apareciendo como molibdenita dentro de vetillas de cuarzo, acompañada de calcopirita y en vetillas puras. La distribución sigue la misma tendencia N30°E que siguen los eventos de alteración y los cuerpos de vetas. Los mayores volúmenes de mineralización se concentran en la parte central y norte del yacimiento. (2).

4.5. Estimación de reservas

El modelo de recursos de la división Radomiro Tomic está compuesto por bloques de tamaño 15x20x15 m., que se localizan en las siguientes coordenadas (sistema local Mina RT) como se muestra en la Tabla 2:

Coordenadas	Mínimo	Máximo	Tamaño	# de Block
Este	1380	5880	15	300
Norte	4600	15100	20	525
Elevacion	2000	3185	15	79

Tabla 2 Límite de Modelo de Bloques

La clasificación de recursos que contiene el modelo de bloques de División Radomiro Tomic se describe en la Tabla 3. Esta clasificación reúne a los recursos medidos, indicados, inferidos en los códigos (1, 2 y 3), y potenciales identificados con los códigos (4 y 5), en tanto que el código (0) responde a valor no conocido (2).

CATEGORIA	Ton (Mton)	Ley de CuT (%)	Ley de Mo (%)	Ley de Cus (%)
0	27,844	0.01	0.0002	0.003
1	792	0.49	0.0090	0.078
2	1,927	0.34	0.0049	0.059
3	14,652	0.09	0.0014	0.005
4	1,355	0.22	0.0059	0.024
5	72,954	0.02	0.0002	0.002

Tabla 3 Categorización de Recursos en Modelo de Bloques

4.6. Geotecnia

Para el sector del rajo central, la caracterización geotécnica se ha realizado de acuerdo a la definición de Unidad Geotécnica Básica (UGTB), para ello se optó por la generación de secciones de modelamiento en base a las Unidades Geológicas (UG) definidas en el modelo geológico del yacimiento principalmente y Unidades de Alteración en menor medida. De esta combinación resultan las siguientes 12 UGTB, de las cuales 10 son en roca y 2 en grava:

- Grava Estéril (GRE): cobertura sedimentaria que se caracteriza por la presencia de cuatro niveles estratificados, bien definidos y continuos, de contactos concordantes que van desde subhorizontales a inclinados al oeste, con ángulos que varían entre 0 a 25°. En general presenta una moderada a buena calidad geotécnica. Ver ilustración 11. (2).
- Grava Exótica (GRX): se presenta sobre el contacto grava - roca, es de color verde con tonalidades grisáceas y ocurre preferentemente como relleno de paleocanales. Es de geometría irregular, cuyos espesores varían entre 0.5 m y 10 m. Presenta una buena calidad geotécnica. Ver ilustración 11. (2).
- Óxido Superior Argilizado (OXA): presenta un color verde claro, morfológicamente es un cuerpo elongado en dirección norte - sur. Corresponde a un macizo rocoso de regular a mala calidad geotécnica, débilmente a resistente a la compresión uniaxial (10 - 60 MPa). El grado de fracturamiento varía desde masivo - fracturado a muy fracturado (FF/m 9 - 19), rellenos de mala calidad, RQD entre 8 - 29 %. Su índice geológico de resistencia (GSI) lo identifica como fracturado y perturbado con una condición de discontinuidad Mala (BD/P 23 a 36). Ver ilustración 11. (2).
- Óxido Superior (OXS): de color verde claro, su distribución obedece a un cuerpo elongado en la dirección norte - sur, de espesores variables. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica, moderadamente resistente a resistente a la compresión uniaxial (25 a 79 MPa). El grado de fracturamiento varía desde masivo - fracturado a muy fracturado (FF/m 7 - 17), rellenos de mala calidad, RQD entre 27 - 55 %. Su GSI lo ubica como fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad mala (VB/P - VB/VP 30 a 41). Ver ilustración 11. (2).
- Óxido Inferior (OXI): presenta un color verde oscuro, se interpreta como un cuerpo elongado y con continuidad irregular. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica,

moderadamente resistente a resistente a la compresión uniaxial (32 a 84 MPa). El grado de fracturamiento varía entre masivo a fracturado (FF/m 4 a 14), rellenos de Buena calidad, RQD entre 51 - 77 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad mala a regular (VB/P - VB/F 33 a 47). Ver ilustración 11. (2).

- Lixiviado (LIX): de color marrón. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica, moderadamente resistente a resistente a la compresión uniaxial (25 a 83 MPa). El grado de fracturamiento varía entre masivo a fracturado (FF/m 3 a 15), rellenos de regular a mala calidad, RQD entre 43 - 71 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad de mala a regular (VB/F - VB/P - VB/VP 30 a 47). Ver ilustración 11. (2).

- Sulfuro Secundario (SSE): de color gris claro, cuerpo muy irregular y variable en espesor, siendo favorecida su profundización debido a la acción estructural. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica, moderadamente resistente a resistente a la compresión uniaxial (25 a 83 MPa). El grado de fracturamiento varía entre muy masivo a fracturado (FF/m 1 a 13), rellenos de regular calidad, RQD entre 58 - 90 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular (VB/F - VB/P 34 a 51). Ver ilustración 11. (2).

- Sulfuro Primario (SPP): de color gris claro, morfológicamente es una franja alargada en la dirección norte - sur. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica, moderadamente resistente a resistente a la compresión uniaxial (36 a 52 MPa). El grado de fracturamiento varía entre masivo a fracturado (FF/m 2 a 14), rellenos de regular calidad, RQD entre 53 - 85 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular (VB/F - VB/G 36 a 52). Ver ilustración 11. (2).

- Sulfuro Primario Argilizado (SPA): de color gris claro, restringido a zonas con control estructural. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad geotécnica, débil a resistente a la compresión uniaxial (19 a 73 MPa). El grado de fracturamiento varía entre masivo a fracturado (FF/m 2 a 12), rellenos de regular calidad, RQD entre 52 - 84 %. Su GSI es fracturado y perturbado a fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular a buena (VB/F - VB/G 29 a 51). Ver ilustración 11. (2).

- Pórfido Este Cloritizado (PEC): de color gris claro con tonalidades verdosas, se presenta como un cinturón alargado en la dirección norte - sur. Corresponde a un macizo rocoso de regular calidad

geotécnica, resistente a muy resistente a la compresión uniaxial (53 a 114 MPa). El grado de fracturamiento varía entre masivo a fracturado (FF/m 2 a 12), rellenos de regular calidad, RQD entre 65 - 87 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular a buena (VB/F - VB/G 37 a 56). Ver ilustración 11. (2).

- Granodiorita Elena (GEL): de color gris claro, se presenta como un cuerpo continuo y regular. Corresponde a un macizo rocoso de buena calidad geotécnica, resistente a muy resistente a la compresión uniaxial (77 a 147 MPa). El grado de fracturamiento varía entre muy masivo a fracturado (FF/m 1 a 11), rellenos de regular calidad, RQD entre 73 - 93 %. Su GSI es fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular a buena (VB/F - VB/G 44 a 63). Ver ilustración 11. (2).

- Volcanitas (VOL): de color verde oscuro, se define como un cuerpo de distribución y morfología irregular. Corresponde a un macizo rocoso de buena calidad geotécnica, resistente a muy resistente a la compresión uniaxial (68 a 104 MPa). El grado de fracturamiento varía entre muy masivo a masivo -fracturado (FF/m 0 a 10), rellenos de buena calidad, RQD entre 83 - 99 %. Su GSI es fracturado a fuertemente fracturado en bloques con una condición de discontinuidad regular a buena (VB/F – VB/G 45 a 64). Ver ilustración 11. (2).

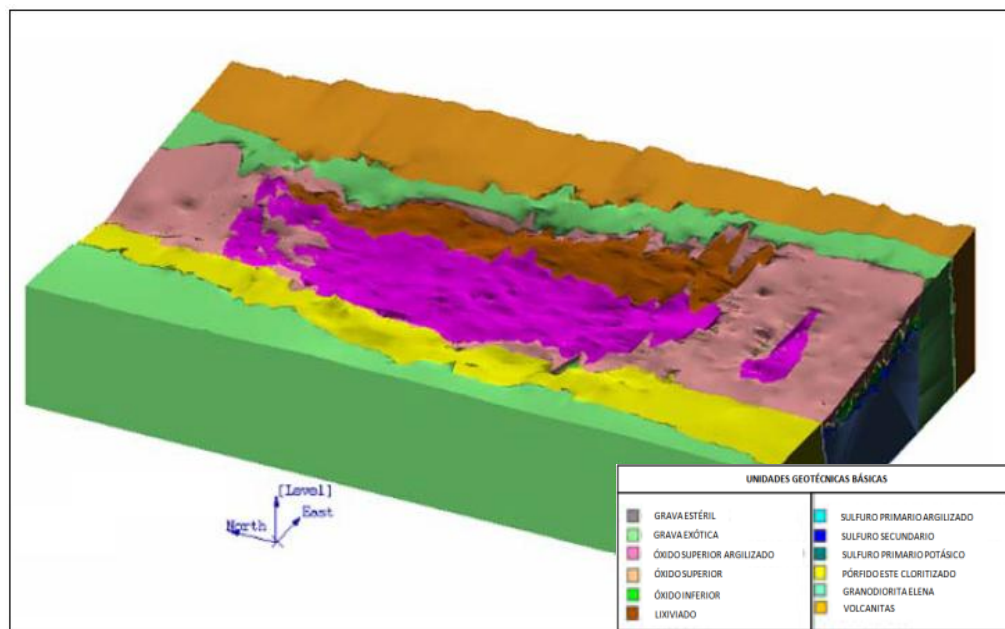


Ilustración 11 Modelo 3D de UGTB

Los arreglos estructurales reconocidos en Mina Radomiro Tomic han permitido definir 4 dominios estructurales mayores denominados Kala distribuido en una franja NS aledaña al talud Oeste, Kalatche Central distribuidos en la parte central del rajo, Puri distribuido en la zona norte del rajo y Kalatche Sur distribuido en la zona SE del rajo. Ver Ilustración 12.

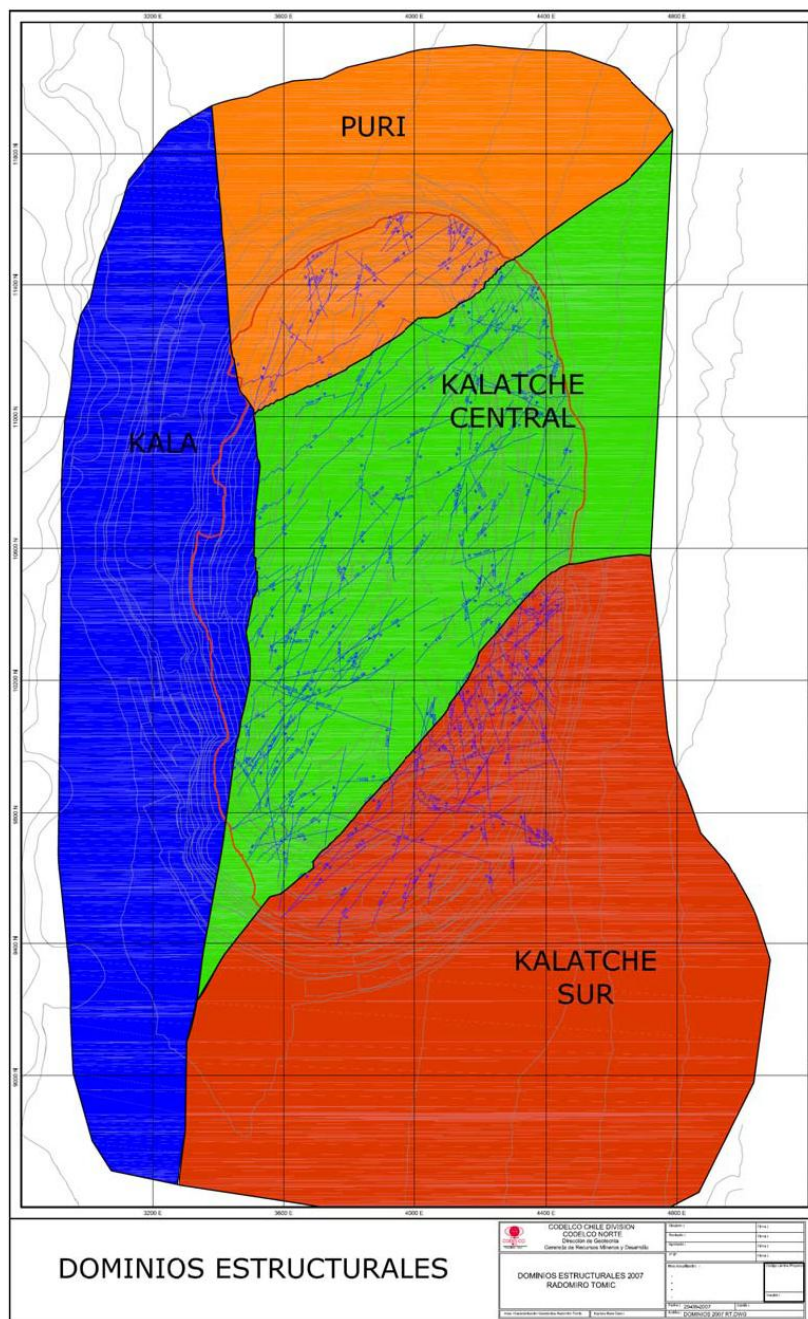


Ilustración 12 Distribución y límites de los dominios estructurales reconocidos en el yacimiento central.

CAPÍTULO V: MINERÍA.- EQUIPOS (ACEROS) DE PERFORACIÓN

5.1. Capacidad de Producción

La Mina Radomiro Tomic produce alrededor de 338.000 toneladas métricas de cobre, su planta está diseñada para un nivel de producción anual de 300.000 toneladas de cátodos de cobre. La producción de cobre en el año 2011 fue de 470.144 toneladas métricas de cobre fino, que la ubica como la división más productiva de Codelco.

5.2. Características de la Mina a Cielo Abierto Radomiro Tomic:

5.2.1. Diseño de la mina

La extracción del mineral del yacimiento se realiza a rajo abierto, sistema que en RT, comprende faenas de perforación, tronadura, carguío y transporte en camiones hacia las instalaciones de procesamiento.

La mina RT aplica un esquema de explotación de banco cerrado con rampa continua, cuyos principales parámetros geométricos de diseño, que dan origen a las expansiones, se detallan a continuación:

- Ancho de rampa: 30 m
- Pendiente de Rampas: 10 %
- Altura de banco simple: 15 m
- Altura de bancos dobles: 30 m
- Ancho mínimo de carguío por ambos lados 60 m
- Ancho carguío por un lado 41 m

Las operaciones de perforación y tronadura para mineral se realizan mediante una malla de perforación de 11x11 m, con un diámetro de perforación de 12¼ pulgadas, obteniéndose una fragmentación con un $d_{80} = 10''$ -11''.

Las operaciones de extracción de mineral consideran el uso de perforadoras, palas, camiones, bulldozer, wheelloader, motoniveladoras, y camiones aljibe. Para el transporte de mineral se utilizan camiones de 300 toneladas de capacidad de carga. (2).

El ritmo de extracción promedio para el quinquenio 2008-2012 fue de 338 ktpd de mineral.

El pit final seleccionado, de acuerdo a un criterio económico mediante análisis marginal de fases, es el pit 26 y corresponde a un RF de 0.8, y es producto del efecto tasa de descuento y de incorporar en la evaluación las inversiones en la mina y los costos de operación más ajustados a los perfiles de transporte resultantes, conforme se presenta en la siguiente figura, donde el pit final alcanza hasta la Fase 43 y deja fuera la Fase 44. Ver Ilustración 13.

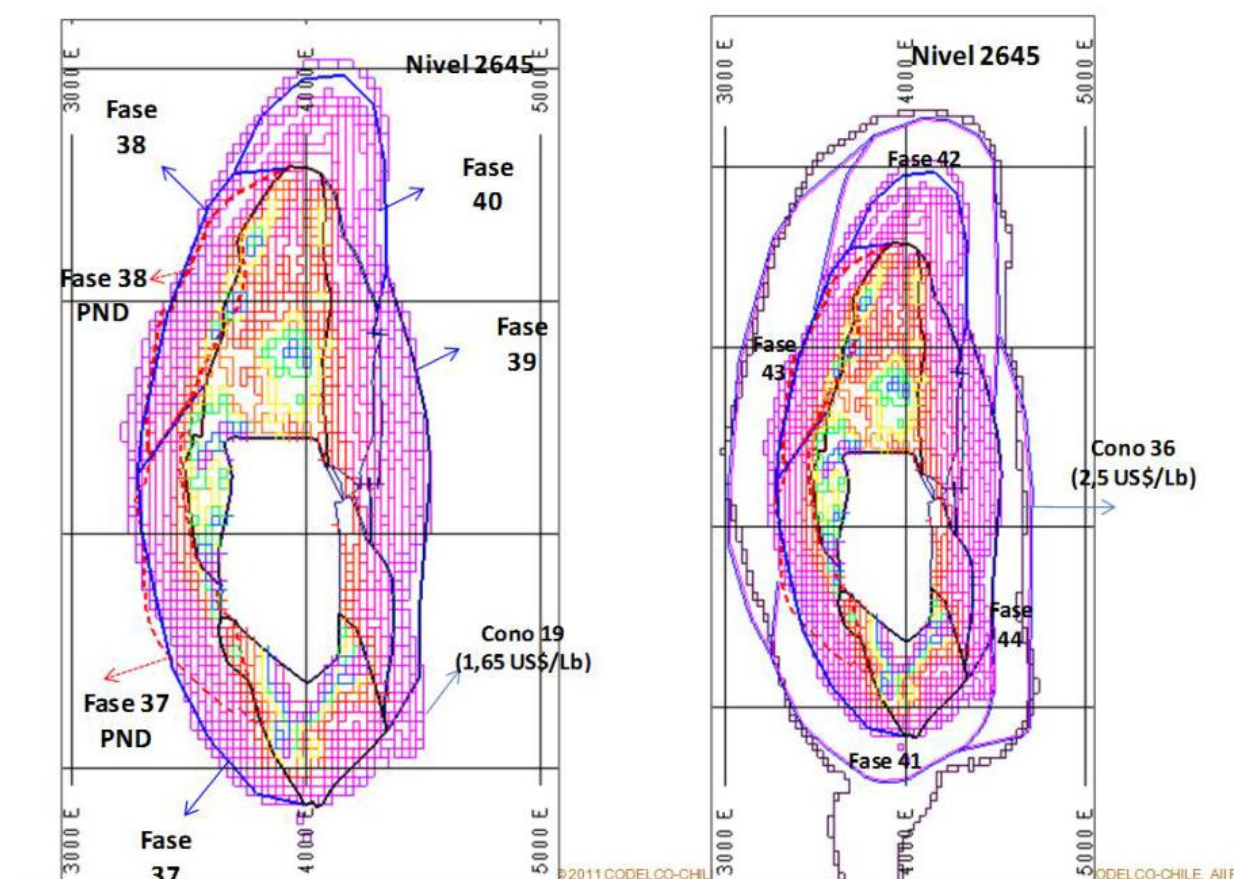


Ilustración 13 Secuencia económica del Rajo, por fases

Determinados el pit final y la secuencia económica de explotación, se procedió a realizar los diseños de fases operativizadas, para los tres primeros años (2012 - 2013 - 2014) y se analiza, en función de nuevos datos (inputs), los diseños para los siguientes años, considerando: nuevo modelo

de bloques, recomendaciones geotécnicas y el adelanto en el Ramp Up de los sulfuros para el ingreso de la nueva concentradora (Julio 2016).

Las Fases de sulfuros corresponden a las diseñadas en la Ingeniería de Prefactibilidad del Proyecto Sulfuros RT Fase 2, que están acopladas a los nuevos diseños en las Fases de óxidos.

En la Ilustración 14 se muestra las Fases de óxidos y en la Ilustración 15 se muestra las Fases de sulfuros, además en la Tabla 4 y Tabla 5 se muestra la secuencia de desarrollo de las fases para óxido y sulfuros respectivamente.

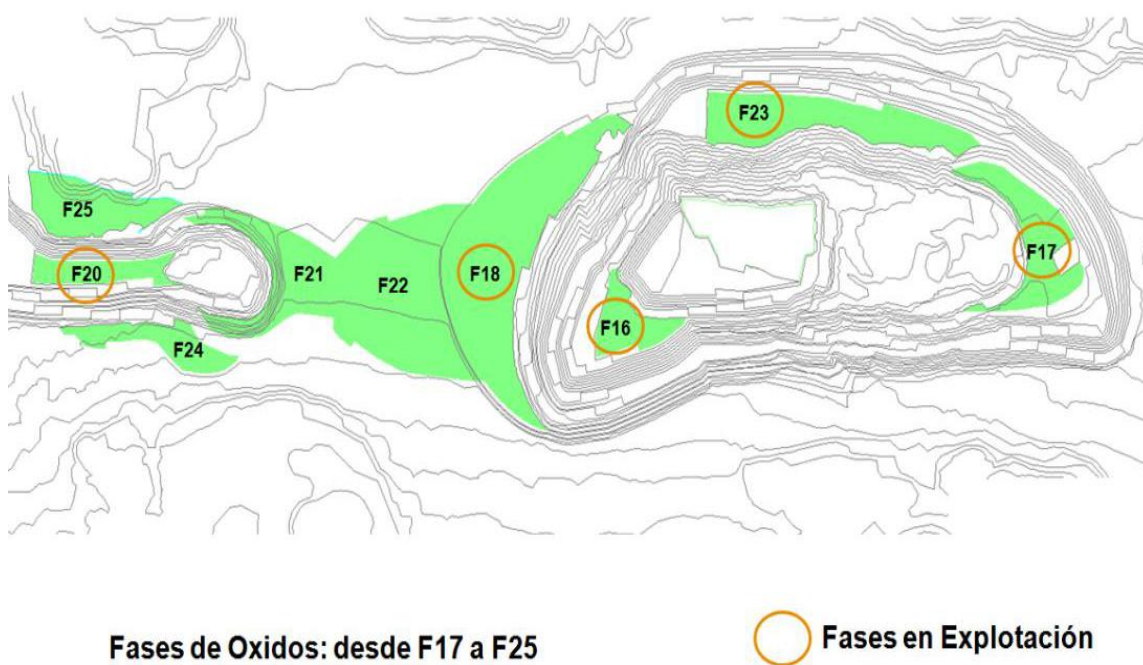
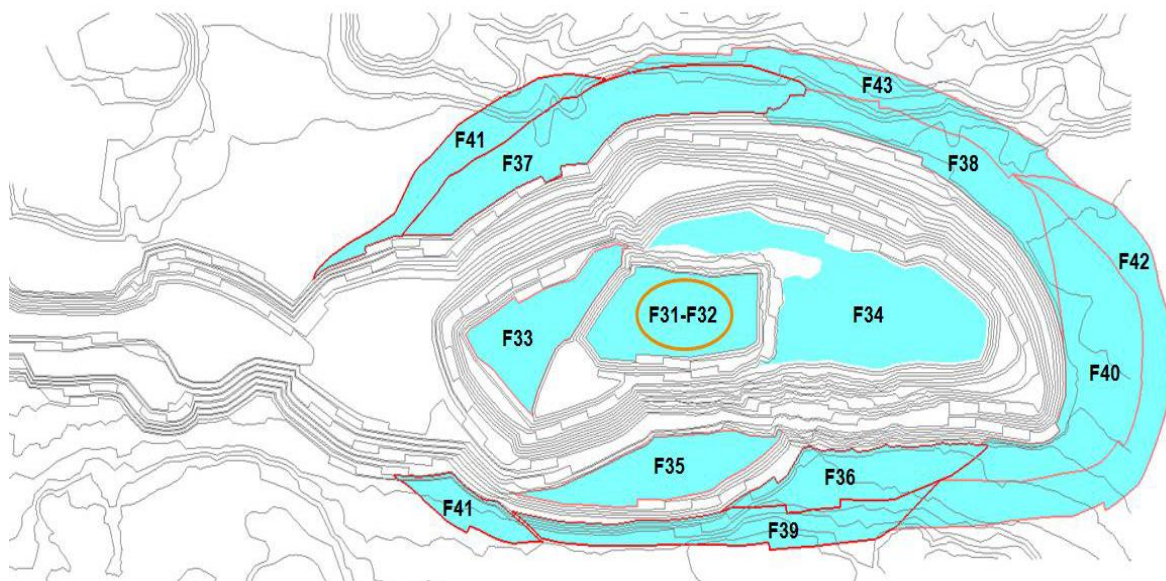


Ilustración 14 Fases de Óxidos

Fase	Secuencia
Fase 16	1
Fase 17	2
Fase 20	3
Fase 23	4
Fase 18	5
Fase 21	6
Fase 22	7
Fase 24	8
Fase 25	9

Tabla 4 Secuencia desarrollo de fases óxido



Fases de Sulfuros: desde F31 a F43

 Fases en Explotación

Ilustración 15 Fases Sulfuros

Fase	Secuencia
Fase 31-32	1
Fase 33	2
Fase 34	3
Fase 35	4
Fase 36	5
Fase 37	6
Fase 38	7
Fase 39	8
Fase 40	9
Fase 41	10
Fase 42	11
Fase 43	12

Tabla 5 Secuencia de desarrollo fases sulfuro

Los ángulos de inter-rampa se muestran en la Ilustración 16 e Ilustración 17:

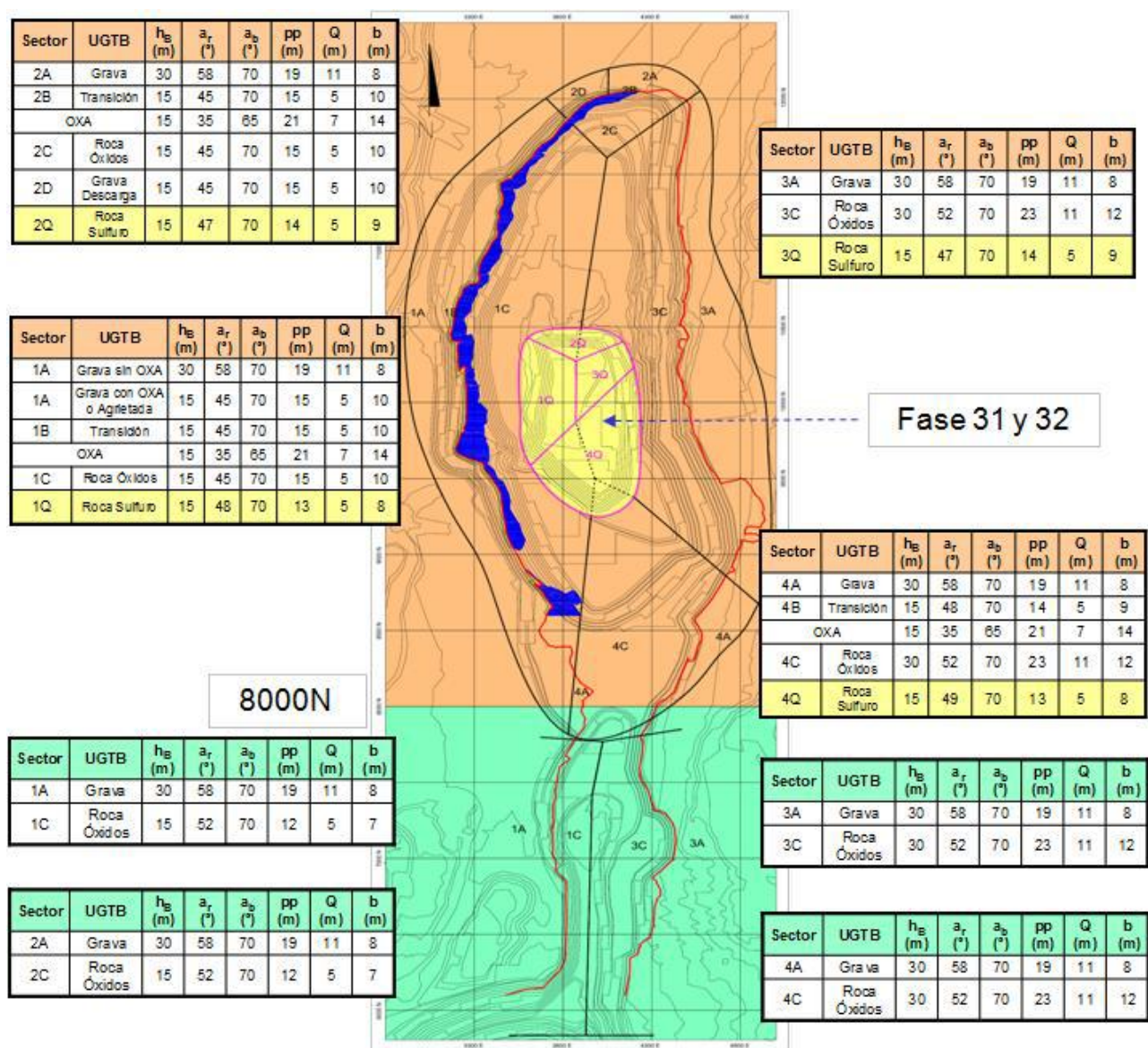


Ilustración 16 Ángulos de Inter-rampa óxidos

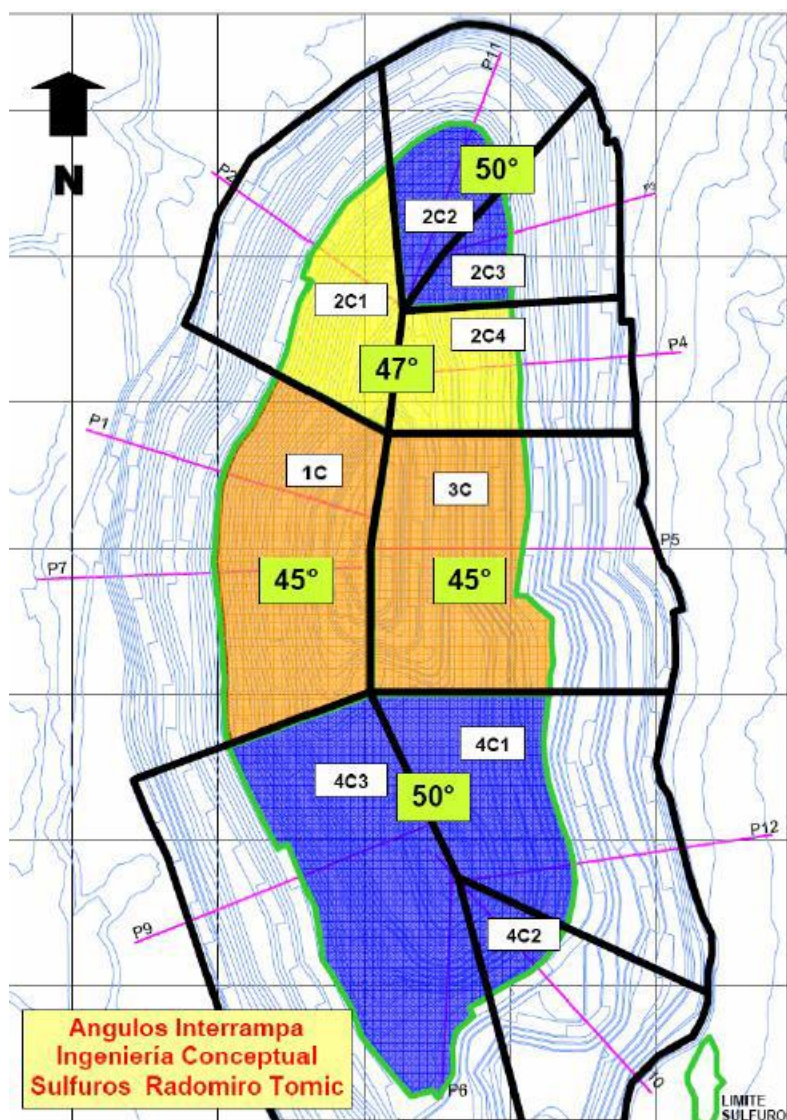


Ilustración 17 Ángulos de inter-rampa sulfuros

5.2.2. Planificación de la producción minera

Basándose en las leyes de corte del mineral de RT, la producción de mineral y estéril durante el quinquenio 2008-2012 fue el que se indica en la siguiente Tabla 6:

	Total Mineral		Lastre		Total	
	kt	ktpd	kt	ktpd	kt	ktpd
2008	112.583	309	110.067	302	222.650	611
2009	94.598	260	120.204	330	214.802	589
2010	154.686	424	81.820	224	236.505	649
2011	164.074	450	75.931	208	240.006	658
2012	130.770	359	117.190	322	247.960	680

Tabla 6 Movimiento de Materiales Mina RT

5.2.3. Sistema de trabajo

El sistema de trabajo que se aplica en la mina Radomiro Tomic comprende un tiempo nominal de 24 horas diarias, trabajadas en dos turnos de 12 horas cada uno.

El turno A ingresa en la mañana desde las 8h00 hasta las 20h00, el turno B ingresa en la noche desde las 20h00 hasta las 8h00. Estos turnos de trabajo se cumplen con 4 grupos de trabajo E-1, E-2, E-3, E-4; cada grupo de trabajo está conformado de manera general por:

- 4 Jefes de turno
- 4 operadores mayores
- 130 operadores de equipos

Alcanzando una dotación propia de aproximadamente 1010 trabajadores incluido personal administrativo.

Los grupos de trabajo laboran en turnos de 7 x 7, es decir 7 días de trabajo y 7 días de descanso, en el mes de septiembre del 2012 los turnos se distribuyeron de la siguiente manera (Tabla 7):

SEPTIEMBRE 2012																														
JEFE TURNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
E-1 GUILLERMO MORALES TORRES	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D	D	B	B	B	B	B
E-2 GERARDO ZAMORANO CORTEZ	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D	D	B	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D
E-3 HERNÁN GODOY SÁNCHEZ	A	A	A	A	D	D	D	D	D	D	D	B	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
E-4 WILSON CASTRO JIMÉNES	D	D	D	D	B	B	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D

Tabla 7 Distribución grupos de trabajo

La producción por turno de trabajo es de 330.000 toneladas aproximadamente, por lo que en el día se producen alrededor de 650.000 toneladas de material total (mineral + estéril).

5.2.4. Etapas del desarrollo minero

La extracción del yacimiento RT comprende:

A. Perforación

La perforación es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir huecos, con distribución y geometría adecuadas, para alojar en ellos las cargas de explosivo y sus respectivos accesorios. (6).

Las perforaciones deben realizarse a distancias previamente acordadas, y equidistantes entre sí, generalmente entre 8 y 12 m (malla de perforación), de manera que atraviesen toda la altura del banco para que, al introducirse los explosivos, la detonación permita fragmentar la roca. Para realizar estas perforaciones, se utilizan modernos y potentes equipos eléctricos de perforación, que permiten perforar un hoyo de 15 m de profundidad en escasos 20 minutos. (6).

Los dos grandes métodos mecánicos de perforación son los rotopercutivos y los rotativos.

Los criterios que intervienen en la selección de los equipos de perforación son: económicos, de diseño mecánico, mantenimiento y servicio, capacidad operativa, adaptabilidad a los equipos de explotación y a las condiciones del área de trabajo, (accesibilidad, tipo de roca, fuentes de energía, entre otros)

La mina Radomiro Tomic usa dos tipos de perforación; la rotopercutiva en el caso de precorte y la rotativa empleada para producción y amortiguación.

El precorte se emplea para formar la pared del talud y dar estabilidad al banco. La Amortiguación se usa para controlar la rotura de la roca y que se mantenga dentro del área considerada evitando daños a la pared del talud y a la infraestructura circundante.

B. Voladura

Las voladuras se realizan con varios propósitos, entre ellos: mover y remover el mineral y la roca, controlar superficies de las rocas en excavaciones y triturar la roca hasta un tamaño deseado.

Según los criterios de mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el que las presiones generadas por los explosivos confinados dentro de los taladros perforados, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada. Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la “mejor” fragmentación. Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminución en las plantas metalúrgicas, mientras que el explotar rocas algunas veces se requiere que salgan grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas. El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles. Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucran un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados. Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados unos con otros; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca y/o mineral. (8).

C. Ventilación

En el caso de la minería a cielo abierto, la ventilación es natural, ya que se trata del flujo natural de aire fresco al interior de una labor sin necesidad de equipos de ventilación.

D. Carguío y Transporte

El carguío y el transporte constituyen la principal operación en una faena minera, pues son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en el proceso de voladura.

El material tronado (arrancado) es cargado en camiones de gran tonelaje mediante palas electromecánicas, excavadoras o cargadores frontales. (10).

El diseño de cierre al doblar banco, se realiza utilizando una sola línea buffer en $\varnothing 12 \frac{1}{4}$ ", un burden de 9 m y espaciamiento de 8 m. Dejando la última fila de producción a 9 mt de la línea buffer. Ver ilustración 19.

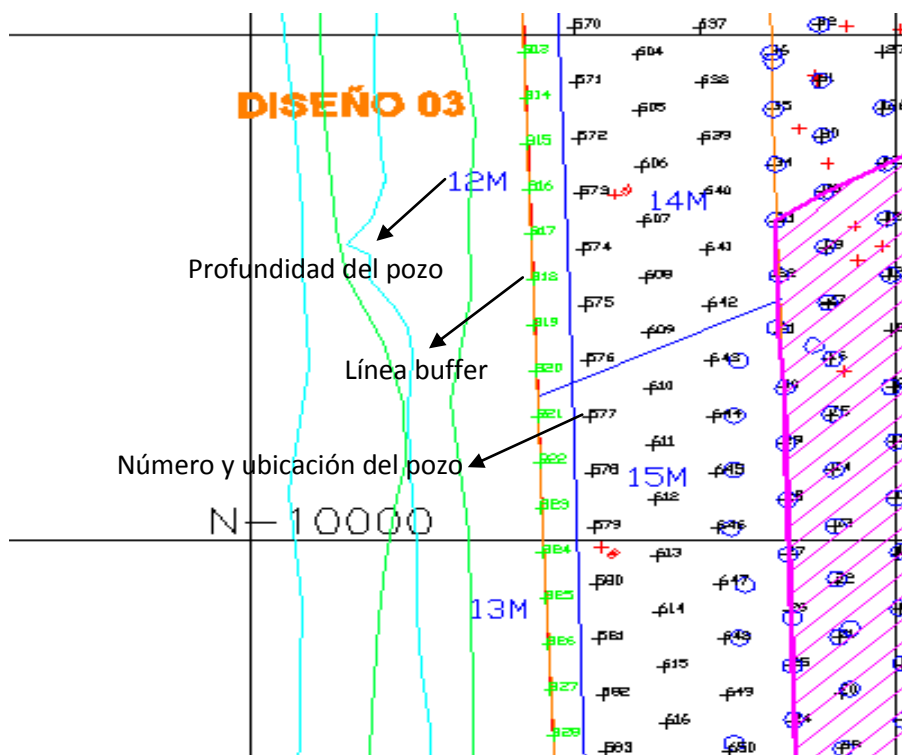


Ilustración 19 Malla perforación cierre banco doble

Diseño sector de óxidos banco simple, ver Ilustración 20.

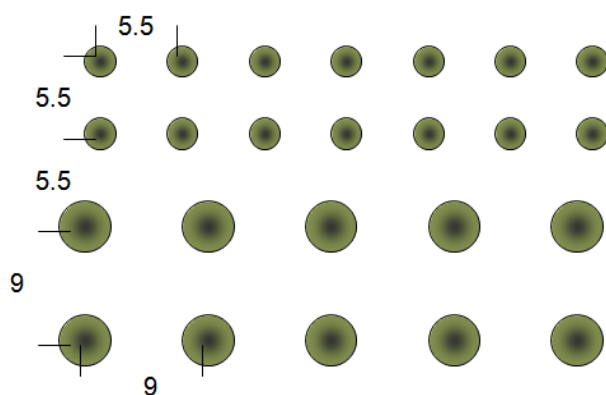


Ilustración 20 Malla perforación óxidos banco simple

Malla buffer: 5.5 x 5.5 m

Diámetro buffer: 6 ½"

Malla producción: 9 x 9 m

Diámetro producción: 12 ¼"

Altura de banco: 15 m

Pasadura: 2 m

Diseño sector de óxidos banco doble, ver Ilustración 21.

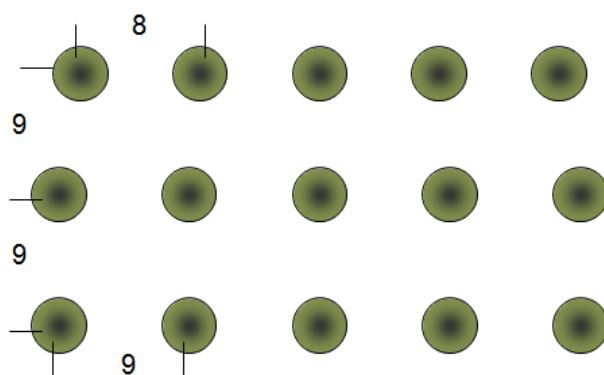


Ilustración 21 Malla perforación óxidos banco doble

Malla buffer: 9 x 8 m

Diámetro buffer: 12 ¼"

Malla producción: 9 x 9 m

Diámetro producción: 12 ¼"

Altura de banco: 15 m

Pasadura: 2 m

Diseño carga sector de óxidos banco simple, ver Ilustración 22 y Tabla 8

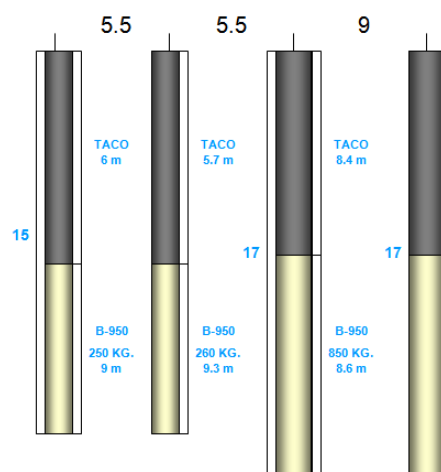


Ilustración 22 Diseño cargado óxidos banco simple

	<i>BUFFER 1</i>	<i>BUFFER 2</i>	<i>PRODUCCIÓN</i>
<i>FC (gr./Ton)</i>	221	230	281
<i>FC (ANFO)</i>	181	189	230

Tabla 8 Cantidad de explosivo

Diseño sector de óxidos banco doble, ver Ilustración 23 y Tabla 9 y 10.

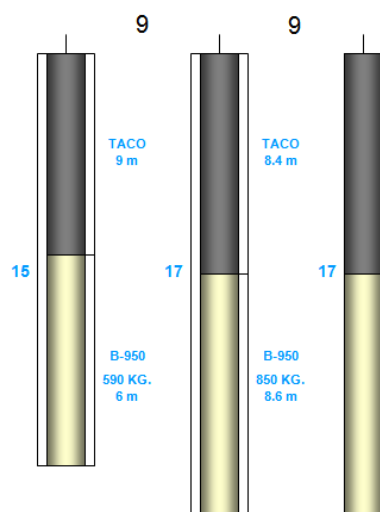


Ilustración 23 Diseño cargado óxidos banco doble

	<i>BUFFER 1</i>	<i>PRODUCCIÓN</i>
<i>FC (gr./Ton)</i>	219	281
<i>FC (ANFO)</i>	180	230

Tabla 9 Cantidad de explosivo

INFORMACIÓN GEOTÉCNICA SECTOR OXIDO		
		F.C. (gr/t) (Anfo/Eq)
I.T. >	50	200
FACTOR DE ENERGIA	0,75	
I.T. <	56	224
FACTOR DE ENERGIA	0,84	

RANGOS DE FACTOR DE CARGA OPTIMO
PARA EL SECTOR

Tabla 10 Rangos de Factor de carga para el sector óxidos

Diseño sector de sulfuros banco simple, ver Ilustración 24.

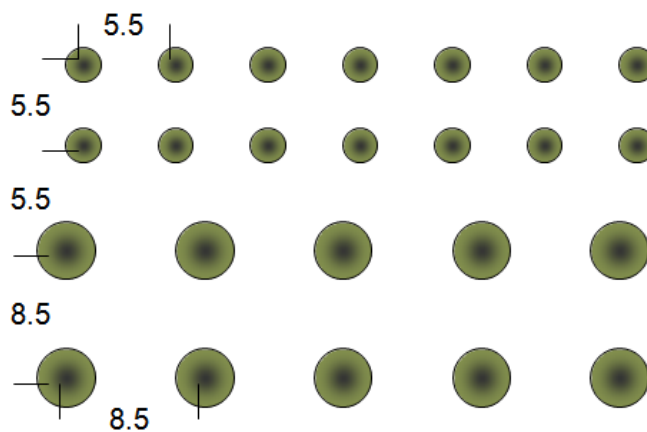


Ilustración 24 Malla perforación sulfuros banco simple

Malla buffer: 5.5 x 5.5 m

Diámetro buffer: 6 ½"

Malla producción: 8.5 x 8.5 m

Diámetro producción: 12 ¼"

Altura de banco: 15 m

Pasadura: 2 m

Diseño cargado sulfuros en banco simple, ver Ilustración 25 y Tabla 11.

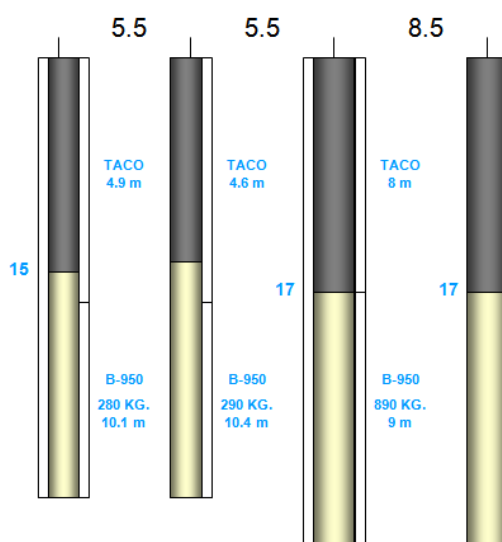


Ilustración 25 Diseño cargado sulfuros banco simple

	<i>BUFFER 1</i>	<i>BUFFER 2</i>	<i>PRODUCCION</i>
<i>FC (gr./Ton)</i>	248	257	330
<i>FC (ANFO)</i>	203	210	270

Tabla 11 Cantidad de explosivo

Diseño sector de grava lastre banco simple, ver Ilustración 26.

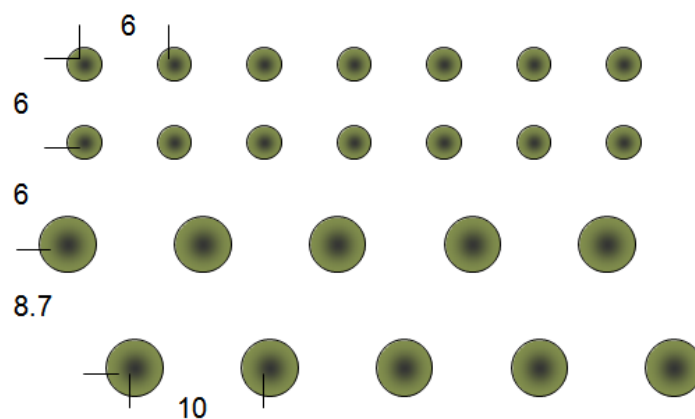


Ilustración 26 Malla perforación grava lastre banco simple

Malla buffer: 6 x 6 m

Diámetro buffer: 6 ½"

Malla produccion: 8.7 x 10 m

Diámetro producción: 12 ¼"

Altura de banco: 15 m

Pasadura: 2 m

Diseño de cargado grava lastre banco simple, ver Ilustración 27 y Tabla 12 y 13.

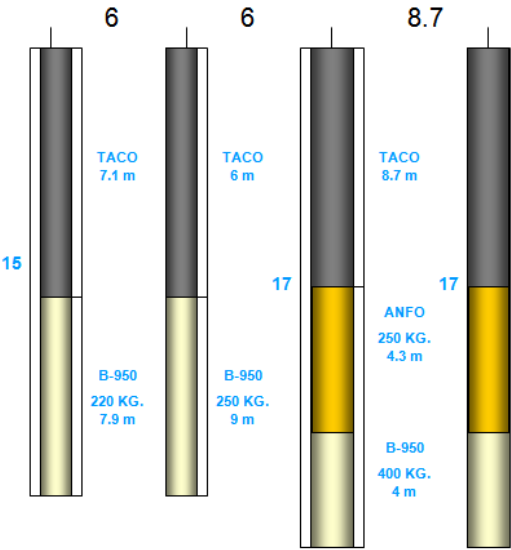


Ilustración 27 Diseño cargado grava lastre banco simple

	BUFFER 1	BUFFER 2	PRODUCCION
FC (gr./Ton)	177	201	217
FC (ANFO)	145	165	193

Tabla 12 Cantidad de explosivo

PERFORADORA		F.C. (gr/t)	INFORMACION GEOTÈCNICA SECTOR GRAVA RANGOS DE FACTOR DE CARGA OPTIMO PARA EL SECTOR
ACCESORIOS		(Anfo/Eq)	
I.T. >	32	128	
FACTOR DE ENERGIA	0,48		
I.T. <	40	160	
FACTOR DE ENERGIA	0,60		

Tabla 13 Rangos de Factor carga sector grava

Diseño sector grava lastre banco doble, ver Ilustración 28.

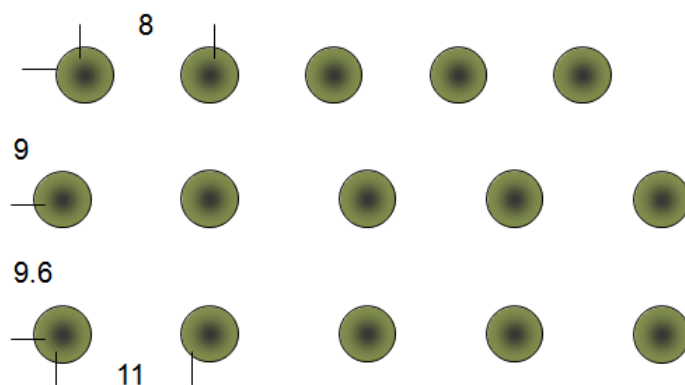


Ilustración 28 Malla perforación grava lastre banco doble

Malla buffer: 9 x 8 m

Diámetro buffer: 12 1/4"

Malla producción: 9.6 x 11 m

Diámetro producción: 12 1/4"

Altura de banco: 15 m

Pasadura: 2 m

Diseño de cargado grava lastre banco doble, ver Ilustración 29 y Tabla 14.

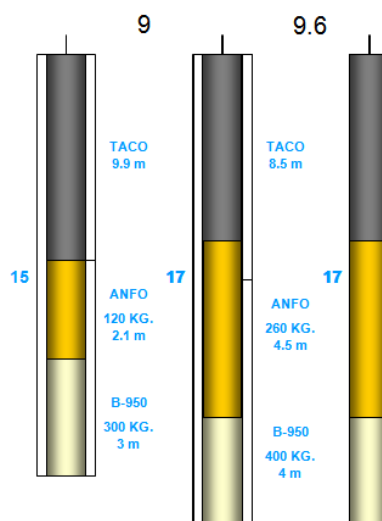


Ilustración 29 Diseño cargado grava lastre banco doble

	BUFFER 1	PRODUCCION
FC (gr./Ton)	169	181
FC (ANFO)	147	161

Tabla 14 Cantidad de explosivo

5.2.6. Infraestructura minera

La Mina RT para la explotación de su yacimiento dispone de la siguiente infraestructura de extracción, carguío y transporte, que se muestra en la Tabla 15:

EQUIPO	MARCA	CANTIDAD
PALAS DE CABLE	PH	9
PALAS HIDRAÚLICAS	PC800	3
CARGADORES FRONTALES	OIKRH200 Flota L-1850	2
	OIKRH340 Flota L-2350	2
	Flota Letaurneau	4
CAEX KOMATSU	Flota1 Kom.930E	18
	Flota2 Kom.930EN	9
	FlotaG Kom.930ER	11
	Flota3 Kom.930ER	6
	FlotaRT Kom.930ER	4
	Flota4 Kom.930E-4SE	3
CAEX Liebherr	FlotaB Lieb-T282B	16
	FlotaC Lieb-T282C	5
	FlotaC1 Lieb-T282C	6
CAEX Trepsa	Flota1 Trepsa1	2
	Flota2 Trepsa2	7
CAEX-CAT	FlotaCAT CAT-795F	2
TOTAL EQUIPO CARGUÍO Y TRANSPORTE RT		109

Tabla 15 Equipo carguío y transporte

Para realizar la perforación dispone de los siguientes equipos, ver Tabla 16:

EQUIPO	MARCA	CANTIDAD
Perforadora	PIT VIPER 351	7
Perforadora	DML	1
Perforadora	ROC-L8	3
TOTAL EQUIPO PERFORADORAS		11

Tabla 16 Equipos de perforación

La Mina RT cuenta también con tres botaderos de estéril al oeste, al este norte y al este sur, así como lugares de acopio para óxidos, sulfuros y depósitos de óxidos de baja ley.

Para el transporte de los sulfuros a la mina Chuquicamata para su tratamiento se usa una cinta transportadora de gran longitud (8,5 kilómetros).

Posee dos chancadoras primarias una para óxidos y otra para sulfuros.

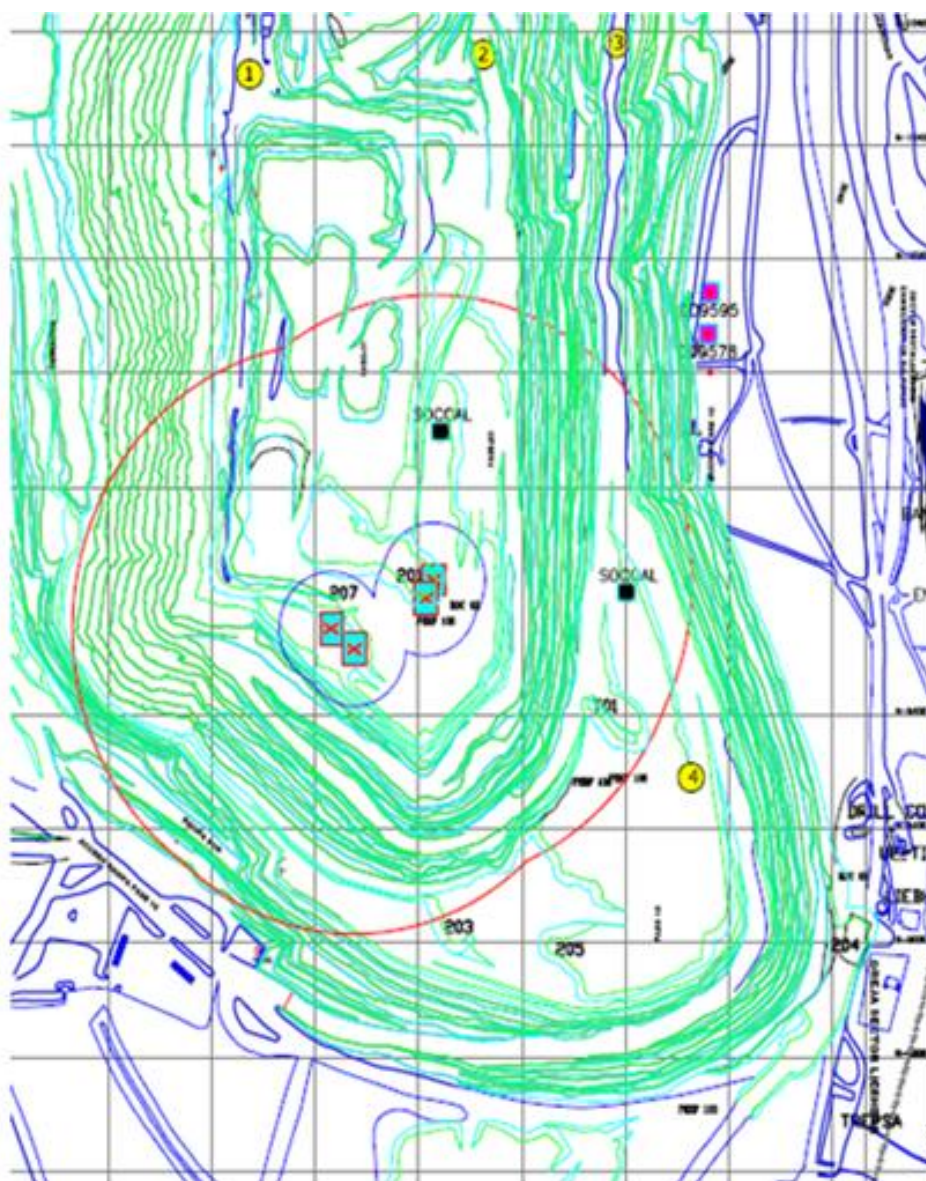
Tiene una planta Hidronorte para la recuperación (concentración) del mineral.

5.2.7. Protocolo de perforación

El protocolo de perforación no solo establece el diseño de las mallas de perforación también el procedimiento que se debe seguir durante el desarrollo de la voladura, mismo que contempla:

1. El jefe de turno pide que liberen la señal por radio.
2. El jefe de turno informa por radio a toda la mina (personal operativo y administrativo) el inicio del proceso de voladura.
3. Se prende la sirena, se colocan conos y loros vivos para que impidan el ingreso de personal a la zona de influencia de la voladura, para ello se debe controlar las vías de acceso a la zona afectada por la voladura.
4. Se inicia la evacuación de equipos y personal que se encuentre operando en la zona de influencia de la voladura. Para las personas la zona de influencia de la voladura cubre un radio de 500 metros y para los equipos de 200 a 250 metros.
5. Se pide al personal de las empresas contratistas y al personal propio que declaren que están fuera de la zona de influencia de la voladura, esta información es entregada por un responsable. Esta declaración es anotada en un registro que sirve como antecedente para evitar incidentes futuros. Ver Ilustración 31.

Para poder colocar los loros vivos se debe revisar el plano de evacuación, en donde se indica las vías de acceso que deben ser cerradas durante el proceso de voladura y consecuentemente la ubicación de los loros vivos, además señala el área de influencia de la voladura, como se indica en la Ilustración 30.







SIMBOLOGÍA	
	ÁREA TRONADURA
	SONDAJES
	LORO VIVO
	RADIO DE CIRCUNFERENCIAS DE SEGURIDAD PERSONAL POR VÍA

Ilustración 30 Plano de evacuación de voladura

LIBRES POR TRONADURA			
1	COLABORADORES	ENTREGA/RESPONSABLE	HORA
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

BANDERAS		
UBICACIÓN	NOMBRE	FUNCION DE LA BANDERA
1		cortar al sur
2		cortar al sur
3		cortar al norte y subida a banco superior
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

		HORA		
TRONADURA	TRONADURA	INICIO	FINAL	DURACIÓN
1				
2				
3				
4				
5				

TRONADURA LIBRE DE ELEMENTOS EXTRAÑOS	
_____	_____
Responsable	Responsable
OBSERVACIONES	
_____	_____
Superintendente Operaciones Mina	Jefe de Turno

Ilustración 31 Hoja de declaración de personal fuera del área de voladura

5.3. Equipos de perforación:

A continuación se describen los tipos de perforación que se utilizan en la Mina Radomiro Tomic con sus respectivos equipos:

5.3.1. Tipos de perforadoras

Perforación Rotativa

Este método de perforación es muy versátil, ya que se lo aplica para una amplia gama de rocas, desde las muy blandas hasta las muy duras.

Este método se divide, según la penetración, en el grupo por trituración, empleando triconos, o por corte utilizando brocas especiales. El primer grupo se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas.

Las perforadoras rotativas están constituidas esencialmente por una fuente de energía, una batería de barras o tubos, individuales o conectadas en serie, que transmiten el peso, la rotación y el aire de barrido a una broca con dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno que actúa sobre la roca.

(11)

A. Equipo de perforación: PIT VIPER 531E



Ilustración 32 Perforadora de producción Pit Viper 351

B. Equipo de perforación: Perforadora DML



Ilustración 33 Perforadora para Precorte modelo DML

Perforación Rotopercutiva

La perforación a rotopercusión es el sistema más clásico de perforación, se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un útil (barra) que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (broca). Los equipos rotopercutivos se clasifican en dos grandes grupos, según donde se encuentre colocado el martillo:

- Martillo en cabeza. En estas perforadoras, las dos acciones básicas (rotación y percusión), se producen fuera del barreno, transmitiéndose a través de una espiga y del varillaje hasta la broca. Los martillos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico. (11).
- Martillo en fondo. La percusión se realiza directamente sobre la broca de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica. (11)

A. Equipo de perforación: ROC L-8 30/25



Ilustración 34 Perforadora para Buffer ROC-L8

5.3.2. Características técnico-operativas de las perforadoras

Los equipos de perforación van montados sobre estructuras de tipo mecano con las que el operador consigue controlar todos los parámetros de la perforación desde posiciones cómodas. Estas estructuras o chasises pueden ir montados sobre neumáticos u orugas, en dependencia del tipo de terreno en el que vayan a trabajar.

Las características técnico-operativas de los equipos de perforación que se utilizan en la mina Radomiro Tomic se resumen en la siguiente Tabla 17:

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	UNIDAD	ROC-L8.M25	DML	PV 351E
Cantidad de Perforadoras	Nº	3	1	7
Potencia	Hp	440	800	1400
Consumo específico Energía	Kw/h	N/A	N/A	1
Consumo específico Combustible	Lts/hr	83	137	N/A
Edad Promedio	hrs	21000	9600	11000

Pull Down	Psi(lb/in2)	30000	60000	125000
Presión de aire	Psi(lb/in2)	150-300	115	115
Flujo Aire	cfm	8,5	1900	3600
Propiedad de los equipos	Describe	CODELCO	CODELCO	CODELCO

Tabla 17 Especificaciones Técnicas de los equipos de perforación

5.3.3. Tipos de aceros de perforación

Los aceros de perforación son las herramientas para la perforación, las que, para su empleo, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Alta resistencia a la fatiga
- Alta resistencia a la flexión
- Alta resistencia al desgaste en las roscas.

La mayoría de herramientas de barrenación son barras de acero sometidas a tratamientos especiales térmicos o carburación y pueden ser:

- Acero de barrenación
- Acero hueco de barrenación
- Acero Seccional

Cualquiera que sea el tipo de acero en el extremo inferior del equipo lleva montada una broca que es la que directamente ataca el fondo del barreno. Las barras usadas son de acero al carbón, acero aleado con cromo-molibdeno. Estas barras son huecas para permitir el paso del aire para el barreno, su longitud es variable y va aumentando en incrementos 0.60 m. (9).

En la Mina RT se utiliza el acero hueco de barrenación (barra) de 10 $\frac{3}{4}$ " y 7 $\frac{5}{8}$ ", tricono de 12 $\frac{1}{4}$ " y 9 $\frac{7}{8}$ "

Para proteger los hilos (roscas) de las barras, se utilizan adaptadores que en el caso de la Mina RT son de tipo API y BACON.

Para evitar la desviación de la sarta de perforación se utiliza el anillo guía de diámetro 7 5/8" y 10 3/4".

El amortiguador es de serie 100 y serie 75 toneladas.

El estabilizador del tricono es de 7 5/8" y 10 3/4".

5.3.4. Características técnico-operativas de los aceros de perforación

Perforación Rotativa

La sarta de perforación para este tipo de perforación es la siguiente, ver Ilustración 35:

- **Amortiguador:** Su función es eliminar el contacto metal con metal, trabaja con la compresión y tensión y amortigua fuerzas y vibraciones.
- **Adaptador:** También llamado sustituto, existen adaptadores de cabezal, de barras y de Triconos
Los adaptadores protegen los hilos de elementos principales, une elementos de distintos hilos y elementos de extremos iguales, completa la longitud de una columna, reemplaza al estabilizador y cambia el diámetro de la columna.
- **Barra de perforación:** Las barras transmiten fuerzas axiales y radiales sobre el tricono, conducen el aire comprimido, controlan la verticalidad y profundidad del pozo y forman el espacio anular.
Para seleccionar las barras se toman en cuenta la capacidad de izado, diámetro a perforar, profundidad a perforar y capacidad del compresor.
- **Anillo Guía:** Su función es mantener centrada la columna, aumenta la vida de los aceros, aumenta la velocidad de penetración y disminuye los niveles de vibración.
- **Estabilizador:** Permite tener menores desviaciones de los pozos, aumento de la velocidad de penetración, mayor duración del tricono, mayor estabilidad de las paredes, mejora la carga de explosivo.

- **Tricono:** Broca tricónica o cabeza de perforación que consta de dientes insertados en engranajes que giran, triturando la roca y sacando detritus.

Está compuesto por:

- Cojinetes o rodamientos
- Conos
- Insertos

Los conos están montados sobre un eje de rodamientos o cojinetes los que a su vez forman parte de las patas o faldones, que es la estructura que soporta la carga a la que está expuesta el tricono.

La carga y el pulldown sobre la roca es absorbida por los rodamientos de bolas, de rodillos o cojinetes de fricción ubicados cerca de la base de los conos.

Los triconos de diámetros superiores a 12" $\frac{1}{4}$ tienen dos o más rodamientos de rodillos para aumentar su capacidad de empuje sobre la roca.

Para obtener mayor acción sobre el fondo del pozo se recurre a la excentricidad de los ejes de los tres conos, la excentricidad de los conos se traduce en una mayor penetración en la mayoría de las formaciones debido a la acción de escariada adicional de los dientes del cono. (9).

El valor de la excentricidad de los conos depende de la formación (roca) que deba perforarse, pues la acción de escariado en formaciones abrasivas desgasta más rápidamente los dientes, así como el diámetro del tricono. (9).

El tricono, el compresor, la perforadora y todos los componentes de la columna de perforación deben complementarse para lograr una perforación más económica y eficiente.

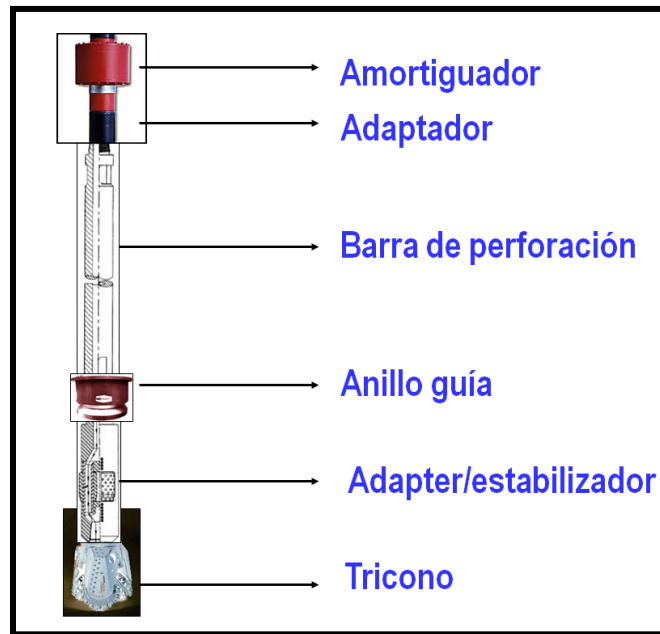


Ilustración 35 Sarta de Perforación

Perforación Rotopercutiva

La sarta de perforación para este tipo de perforación es la siguiente, ver Ilustración 36:

- **Adaptadores de culata o coplón:** corresponden a aquellos elementos que se fijan a las perforadoras para transmitir la energía de impacto, la rotación y el empuje.
- **Barras de extensión:** son las barras empleadas cuando se perfora con martillo en cabeza. Éstas tienen sección hexagonal o circular y en el caso de emplear perforación manual, generalmente lo que se usa son las barras (barrenas) integrales, que tienen unida la barra y la broca, eliminando el empleo de coplas y mejorando la transmisión de energía. Los principales tipos de barras integrales son:
 - Barras tipo cincel: son las más usadas y se caracterizan por su bajo costo y reparación.
 - Barras de insertos múltiples: para rocas blandas y fisuradas.
 - Barras de botones: usadas para rocas poco abrasivas, de fácil penetración. Por ejemplo, se utilizan en minas de carbón.

- **Martillo de fondo DTH:** Se usa en diámetros por lo general de 6 ½“, para realizar precorte en la gran minería, su mayor uso es para pozos profundos.
- **Brocas:** Las brocas o bits son los elementos que están en directo contacto con la roca que se está perforando, por lo que al momento de escoger el tipo de broca deben considerarse las características de la roca. (9).

Las brocas que se utilizan en la perforación rotopercutiva son de dos tipos:

- Pastillas o plaquitas
- Botones



Ilustración 36: Sarta de Perforación Rotopercutiva

5.4. Vida útil de los aceros de perforación

5.4.1. Vida útil

La duración de los aceros de perforación depende de numerosos factores, por lo que, no pueden darse cifras exactas. Al determinar la vida práctica en servicio en un lugar de trabajo determinado, hay que tener en cuenta la fiabilidad de funcionamiento y la seguridad, lo que implica que hay que reemplazar los útiles de perforación antes de que se rompan y perturben la producción. (8).

La vida útil de un acero de perforación, es el tiempo en el cual la herramienta puede operar con eficiencia, es dada por el fabricante y depende del material con el que ha sido elaborada.

El desgaste de los aceros de perforación es un proceso en el que se reduce la vida útil, debido al tipo de herramienta (configuración), a la roca y los esfuerzos aplicados sobre ellos.

El desgaste de los aceros se produce además por una combinación de los siguientes factores:

- minerales en la roca; incluyendo su dureza, tamaño, matriz
- resistencia, dureza, abrasividad de la roca
- profundidad y velocidad de corte o perforación
- existencia de fuerzas de impacto en las herramientas (perforación en roca fisurada) “al vacío” o condiciones cambiantes
- tipo de corte o perforación (percusión, “rasgado”, rotación)
- presencia de enfriadores entre la roca y la herramienta
- sistema eficiente de remoción y evacuación de detritus
- calidad del metal de la herramienta (resistencia, dureza)

De manera general se conoce que la vida útil de los aceros de perforación en la Mina Radomiro Tomic, por experiencia es la siguiente, ver Tabla 18:

VIDA ÚTIL ACEROS		
Tricono	3500 – 4000	Metros perforados
Barras	40000	Metros perforados
Amortiguador	100000	Metros perforados
Adaptador	50000	Metros perforados
Estabilizador	30000	Metros perforados
Anillo Guía	35000	Metros perforados

Tabla 18 Vida útil de los aceros en metros perforados

5.4.2. Muestreo de los aceros de perforación

El muestreo de los aceros de perforación se realizó basándose en los registros de aceros cambiados, facilitados por Drillco Tools S.A. y del seguimiento realizado a través del MineOps, que se ejecutó desde el mes de junio 2012 hasta agosto 2012.

Mediante este muestreo se pudo realizar el cálculo del porcentaje de aceros cambiados, registrados en el sistema MineOps, que se indican en la plataforma de reportes TotalView y compararlos con los registros de Drillco Tools S.A, de manera que se pueda identificar el grado de afectación en el control de los cambios de acero que produce el registro incorrecto de los cambios de acero.

5.4.3. Rendimiento de los aceros de perforación

Para el cálculo de los rendimientos de los aceros, se procedió a clasificar los datos de los aceros cambiados desde julio 2011 hasta agosto 2012, de la siguiente, manera:

Para los triconos: se clasificó primero por tipo de roca que perforó, ya sea sulfuros, óxidos, grava y lastre. A continuación se agrupó dentro del tipo de roca perforada por fabricante y finalmente por modelo, con el fin de poder establecer qué modelo de tricono y de qué fabricante es el que mayor rendimiento tiene según el tipo de roca.

En el caso de los triconos de 9 7/8" se realizó la clasificación por fabricante y modelo, por tipo de material no fue posible debido a que no se contó con la información necesaria.

Para las barras: se clasificó por fabricante y modelo, debido a que para ser cambiado debe transcurrir un mayor lapso que para un tricono.

Para los adaptadores, anillo guía y amortiguador: se procedió a calcular el rendimiento de manera general sin hacer clasificación por modelos, puesto que estos elementos de la sarta de perforación se cambian en un mayor lapso que los triconos y las barras.

5.5. Costos de los equipos de perforación:

5.5.1. Costos

Antes de calcular los costos, es necesario identificar a aquellos costos que intervienen en esta actividad:

Costos Indirectos: Son los que no se pueden identificar con un departamento o actividad determinada. Por lo general corresponden a un gasto que es distribuido entre varios departamentos de acuerdo a una determinada proporcionalidad. Por ejemplo, los gastos generales, los gastos del departamento de contabilidad. (10).

Costos Directos: Son los costos totalmente identificados con la unidad de referencia. Por ejemplo, los costos de explosivos en la construcción de una galería. (5)

Costos Fijos: Representan el gasto monetario total en que se incurre aunque no se produzca nada. No resulta afectado por las variaciones de la cantidad de producción. (5)
Aquí consideraremos a las cuotas de arriendo de equipos, mano de obra directa, entre otras.

Costo Variable: Representan los gastos que varían con el nivel de producción y comprenden todos los gastos que no son fijos. En este grupo está el consumo de barras, consumo de explosivos, consumo de combustible y lubricante de los equipos, consumo de agua. (5)
Según lo anterior, los costos variables dependen en gran medida de las características de cada labor, como número y longitud de tiros, tonelaje removido por disparo.

El costo del metro perforado se puede calcular con:

$$CT = ((Ca + Ci + Cm + Co + Ce + Cl)/Vm) + Cb \quad (1)$$

Donde:

Costos Indirectos:

Ca: Amortización (US\$/Hr)

Ci: Intereses y Seguros (US\$/Hr)

Costos Directos:

Cm: Mantenimiento (US\$/Hr)

Co: Mano de Obra (US\$/Hr)

Ce: Energía (US\$/Hr)

Cl: Engrase y Lubricación (US\$/Hr)

Cb: Aceros (US\$/m)

Vm: Velocidad media de perforación (m/Hr)

Amortización: Es un mecanismo contable para recuperar el dinero invertido

La vida operativa estimada es de:

- 50.000 a 100.000 Hr para perforadoras eléctricas.
- 16.000 a 30.000 Hr para unidades Diesel Diesel-Hidráulicas.

Se calcula como:

$$Ca = (\text{Precio Adquisición} - \text{Valor Residual}) / \text{Horas de Vida}$$

Intereses y seguros: Las máquinas se compran con dinero prestado.

Se calcula como:

$$Ci = \frac{\frac{N + 1}{2 * N} * \text{Precio de Adquisición} * \%(Interese + Seguros + Impuestos)}{\text{Horas de Trabajo al Año}}$$

Donde:

N: número de años de vida

Mantenimiento: Costos de reparación de averías y reparación preventiva

- 5×10^{-5} del precio de la perforadora eléctrica
- 6×10^{-5} del precio de las unidades diesel

Mano de obra: Costo horario del perforista y ayudante.

Energía: Puede ser energía eléctrica o diesel, y se calcula según la especificación de los motores.

Aceite y Lubricador: Suele estimarse entre un 15 y 20% del coste de energía.

Aceros: Su peso en el coste total equivale a un 15 a 40%, según la dureza de la roca.

5.5.2. Costo de los aceros de perforación

Para calcular los costos de los aceros de perforación es necesario tener los datos de producción de la mina y la densidad promedio del mineral, pues a partir de ellos se podrá calcular la producción en metros cúbicos, los metros perforados y la perforación específica, como consta en el siguiente ejemplo:

	PIT VIPER			DML		
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
PRODUCCIÓN (TM)	13367078,55	13792331,42	13932395,05	3517652,25	3629560,90	3666419,75
DENSIDAD (TM/m ³)	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
PRODUCCIÓN (m ³)	5508411,49	5683653,06	5741371,59	1449581,97	1495698,17	1510887,26
METROS PERFORADOS	53289,11	59391,15	58672,95	14023,45	15629,25	15440,25
PERFORACIÓN ESPECÍFICA (mp/m ³)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Tabla 19 Cálculo perforación específica

El cálculo de la producción en metros cúbicos (m³) se obtuvo, dividiendo la producción en toneladas métricas (TM) para la densidad en TM/m³.

La perforación específica (mp/m³) se obtuvo, dividiendo los metros perforados (mp) para la producción en m³.

Una vez obtenidos estos datos es necesario calcular el consumo de los aceros de perforación, que se calcula, dividiendo el número de metros perforados para la vida media de cada tipo de acero de perforación, como se muestra a continuación en la Tabla 20 y Tabla 21:

, como se muestra a continuación:

PIT VIPER	VIDA MEDIA	CONSUMO ACEROS			
	mtrs. Perfor.	JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL
AMORTIGUADOR	100000	1	1	1	3
ESTABILIZADOR	33858	2	2	2	6
ADAPTADOR	50000	1	2	2	5
ANILLO GUÍA	38746	2	2	2	6
BARRA	47168	2	2	2	6
TRICONO	4487	12	14	13	39

Tabla 20 Consumo aceros perforadora Pit Viper

	VIDA MEDIA	CONSUMO ACEROS			
DML	mtrs. Perfor.	JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL
AMORTIGUADOR	100000	1	1	1	3
ESTABILIZADOR	33858	1	1	1	3
ADAPTADOR	50000	1	1	1	3
ANILLO GUÍA	38746	1	1	1	3
BARRA	35696	1	1	1	3
TRICONO	4592,5	3	4	4	11

Tabla 21 Consumo aceros perforadora DML

Luego se debe calcular el costo total de los aceros, es decir el costo de la sarta de perforación, que se obtiene multiplicando el valor unitario del tipo de acero por la cantidad (consumo) del mismo tipo de acero. Para estos cálculos se han utilizado los datos de tres meses junio, julio y agosto 2012, para disponer de un valor promedio, como se muestra a continuación en la Tabla 22 y Tabla 23:

PIT VIPER	costo unidad US\$	COSTOS ACEROS				
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL	
AMORTIGUADOR	19460,02	19460	19460	19460	58380	
ESTABILIZADOR	4318,95	8638	8638	8638	25914	
ADAPTADOR	2358,95	2359	4718	9436	47179	
ANILLO GUÍA	3996,17	7992	7992	7992	23977	
BARRA	12508,09	25016	25016	25016	75049	
TRICONO	6530,75	78369	91431	84900	254699	COSTO PROMEDIO (US\$)
TOTAL (US\$)		141834,39	157254,84	155441,99	485197,57	151510

Tabla 22 Costo total aceros Pit Viper

DML	costo unidad US\$	COSTOS ACEROS				
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL	
AMORTIGUADOR	14594,99	14594,99	14594,99	14594,99	43784,97	
ESTABILIZADOR	1754,83	1754,83	1754,83	1754,83	5264,49	
ADAPTADOR	1754,83	1754,83	1754,83	1754,83	5264,49	
ANILLO GUÍA	3740,68	3740,68	3740,68	3740,68	11222,04	
BARRA	9304,8	9304,80	9304,80	9304,80	27914,40	
TRICONO	5264,58	15793,74	21058,32	21058,32	57910,38	COSTO PROMEDIO (US\$)
TOTAL (US\$)		46943,87	52208,45	52208,45	151360,77	50453,59

Tabla 23 Costo total aceros DML

Para calcular el costo del acero por metro perforado, se debe conocer el costo por hora del acero que se calcula dividiendo el costo del acero para el tiempo promedio de trabajo. También debe calcularse el rendimiento en m^3/h , que se obtiene dividiendo la producción en m^3 para el tiempo de trabajo en horas y seguidamente se calcula un rendimiento promedio. A continuación debe

calcularse el costo del metro cúbico que se consigue dividiendo el costo hora para el rendimiento promedio. Finalmente se saca la perforación específica promedio. Con estos valores se puede calcular el costo de los aceros por metro perforado dividiendo el costo del metro cúbico para la perforación específica promedio, como se muestra en las siguientes Tablas a continuación:

- En el caso de la perforadora Pit Viper

aceros PV	(US\$)	151510,41
tiempo promedio	(h)	736
costo hora	(US\$/h)	205,86
rendimiento	(m ³ /h)	7669,13

Tabla 24 Datos para cálculo costo acero por metro perforado PV

	unidades	junio	julio	agosto
tiempo	(h)	720	744	744
producción	(m ³)	5508411,49	5683653,06	5741371,59
rendimiento	(m ³ /h)	7650,57	7639,32	7716,90
Rendimiento promedio	(m ³ /h)	7669,13		
costo del metro cúbico	(US\$/m ³)	0,03		
perforación específica	(mp/m ³)	0,01	0,01	0,01
perf. Específ. promedio	(mp/m ³)	0,01		

costo del acero	(US\$/mp)	2,65
------------------------	------------------	-------------

Tabla 25 Costo acero por metro perforado PV

- En el caso de la perforadora DML

aceros DML	(US\$)	50453,59
tiempo promedio	(h)	736
costo hora	(US\$/h)	68,55
rendimiento	(m ³ /h)	2018,19

Tabla 26 Datos para cálculo de costo de aceros por metro perforado DML

	unidades	junio	julio	agosto
tiempo	(h)	720	744	744
producción	(m ³)	1449581,97	1495698,17	1510887,26
rendimiento	(m ³ /h)	2013,31	2010,35	2030,76
Rendimiento promedio	(m ³ /h)	2018,19		
costo del metro cúbico	(US\$/m ³)	0,03		
perforación específica	(mp/m ³)	0,01	0,01	0,01
perf. Específ. promedio	(mp/m ³)	0,01		

costo del acero	(US\$/mp)	3,36
------------------------	------------------	-------------

Tabla 27 Cálculo de costo aceros por metro perforado DML

Para determinar el porcentaje que ocupa el costo de los aceros dentro del costo total de perforación, se debe calcular el costo de perforación, como se muestra a continuación:

- Costos equipo de perforación: Los datos de la Tabla 28 han sido proporcionados para facilitar el cálculo del costo de perforación.

		Pit Vipper	DML
Costo Capital [1]	KUS\$	5.048	1.537
Valor Residual al año 8 [2]	KUS\$	500	100
Tiempo Vida Util	Hr Disponibles	80.000	32.000
Costo Mano Obra [3]	US\$/m	4,3	3,4
Costo Energía	US\$/m	1,64	-
Costo Combustible	US\$/l	-	0,5
años de vida	años	16	8

[1] Valor puesto el equipo en RT listo para operar.

[2] La Pit Vipper tiene una vida útil de 15 a 19 años, mientras que la DML solo de 8 a 9 años.

[3] Costo por concepto de remuneraciones, bonos, prestaciones, etc.

Tabla 28 Costos de perforación

El rendimiento de perforación se calcula sacando un promedio de los rendimientos mensuales, el costo del combustible ha sido calculado dividiendo el costo del barril de combustible para el número de litros que contiene el barril, que se muestra a continuación en la Tabla 29:

	PIT VIPER	DML
MES	m/h	m/h
enero	38,61	26,96
febrero	34,43	27,25
marzo	38,00	20,44
abril	30,41	25,82
junio	32,92	27,79
julio	30,33	25,92
agosto	27,45	18,30
septiembre	26,01	20,48
octubre	28,65	25,05
TOTAL	286,80	218,00
PROMEDIO	31,87	24,22

Combustible	US\$/barril	80,00
	US\$/litro	0,50
	consumo DML (l/h)	137

Tabla 29 Rendimiento perforación y consumo de combustible

- Cálculo costo perforación: Se calcula obteniendo los costos directos e indirectos como se indica en el punto 5.5.1.

COSTOS INDIRECTOS			PIT VIPER	DML
Amortización	Ca	(US\$/h)	56,85	44,91
Intereses y Seguros	Ci	(US\$/h)	249402,75	80404,31

COSTOS DIRECTOS			PIT VIPER	DML
Mantenimiento	Cm	(US\$/h)	252,4	92,22
Mano de obra	Co	(US\$/h)	137,03	82,36
Energía	Ce	(US\$/h)	52,260826	-
Combustible	Cc	(US\$/h)	-	68,93
Engrase y lubricacion	Cl	(US\$/h)	9,15	12,06
Aceros	Cb	(US\$/m)	2,65	3,36
Velocidad media de perforación	Vm	(m/h)	38,85	38,85

COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN	(US\$/m)	14,26	9,94
-----------------------------------	----------	-------	------

Tabla 30 Costo total de perforación

- Porcentaje costos aceros del costo total de perforación: Se calcula el porcentaje equivalente correspondiente al costo de los aceros del costo total de perforación.

	PIT VIPER	DML
% Cb del CT	18,61	33,79

Tabla 31 Porcentaje costo acero del costo total de perforación

- Costo de perforación total: Se calcula multiplicando el costo de perforación por la cantidad de metros perforados.

PERFORADORA	US\$/mp	cantidad mp	\$
PIT VIPER	14,26	57117,74	814328,7
DML	9,94	15030,98	149333,3
TOTAL			963662,1

Tabla 32 Costo de Perforación Total

CAPÍTULO VI: SISTEMA ACTUAL DE CONTROL Y REGISTRO DE USO DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN

6.1. Programas de control

6.1.1. Jigsaw

Leica Jigsaw J²drill, nombre específico para el módulo de perforación de Jigsaw, permite medir lo que el ojo humano no puede, permitiendo a los operadores perforar con precisión en la posición más exacta en todo momento.

Cuenta con navegación exacta y de alta precisión por GPS junto con la retroalimentación del sensor en tiempo real, permite al personal de la mina tomar decisiones informadas sobre gestión, rendimiento de la producción, rendimiento del operador, planificación y suministros de consumo.

Los beneficios de Jigsaw J²drill son las siguientes:

- Ubicación y voladura precisa del pozo utilizando tecnología HP GPS.
- Mejora la fragmentación y la recuperación de mineral.
- Perforación a una profundidad definida, reduce la pérdida de mineral y mejora la recuperación.
- Elimine la necesidad de un equipo de topografía para crear un patrón para marcas de perforación.
- Seguimiento de los datos de producción incluyendo demoras y mantenciones.

J²drill permite:

- Control preciso por GPS: Elimina la necesidad de levantamiento topográfico, opera las 24 horas del día, 7 días a la semana, en todo tipo de clima, navegación precisa entre pozo y pozo, localización exacta de los pozos y sus profundidades, perforación a cota o profundidad deseada.
- Conciencia y Seguridad: alarma de barra de pozo, notificación de ángulo incorrecto del mástil, medición del desempeño de la perforación en tiempo real.

- Retroalimentación en tiempo real: Los operadores pueden ver la profundidad requerida y la profundidad actual, velocidad de penetración, indicadores clave de desempeño a bordo y en la oficina.
- Planificación, gestión y elaboración de informes: Voladuras más precisas, mejora las posibilidades de excavación, mejor transporte en los frentes de cargo, seguimiento de suministros, tales como aceros de perforación y captura de datos de producción para cada pozo.
- Monitoreo de la condición: Interfaces de hardware OEM para la supervisión de la condición de la máquina en tiempo real, presentación de informes y alarmas.

6.1.2. Mineops

En el corazón del Leica Jigsaw existe Jmineops, una aplicación central que integra a la perfección todos los aspectos de sus operaciones mineras, ya sea el sistema de orientación de una dragalina o la asignación de un camión.

MineOps se encarga de guardar la información generada por los equipos de producción, con él se puede almacenar, modificar y eliminar datos como son los indicadores e índices de producción de los equipos. La información que proporciona es en línea, por lo que los datos son actualizados hasta el momento de la consulta.

El Programa MineOps, permite obtener información de los KPI'S de los equipos que trabajan en la mina, de tal manera que se puede conocer en el caso de las perforadoras, el número de pozos perforados, el número de metros perforados, la profundidad y el nombre del operador. También se encarga de suministrar por medio del sistema de control la malla de perforación al operador que depende de la zona y el tipo de material en que se vaya a hacer la operación. Además da información sobre la ubicación del equipo y su velocidad, si está operativo o no el equipo y el nivel de comunicación entre este y el sistema.

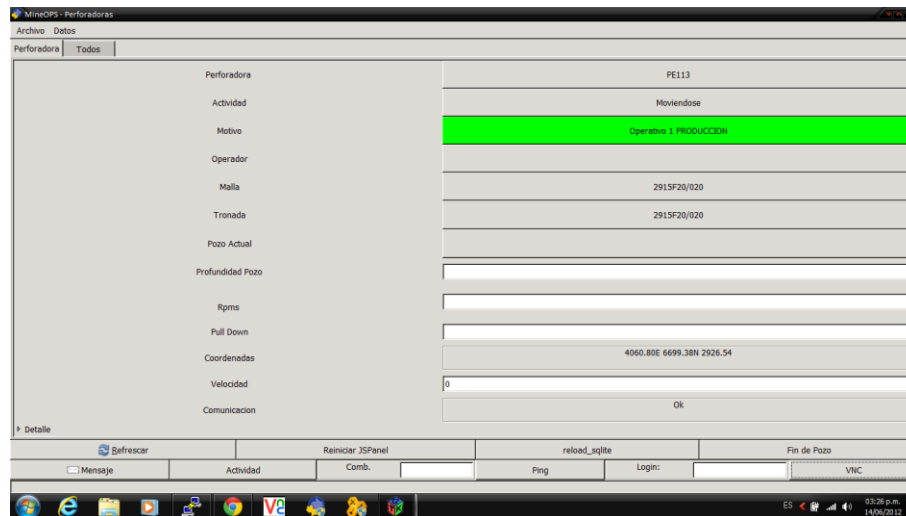


Ilustración 37 Mineops-Estado perforadora

El MineOPS permite también enviar mensajes al operador del equipo en caso de ser necesario, permite visualizar la pantalla del operador al mismo tiempo.

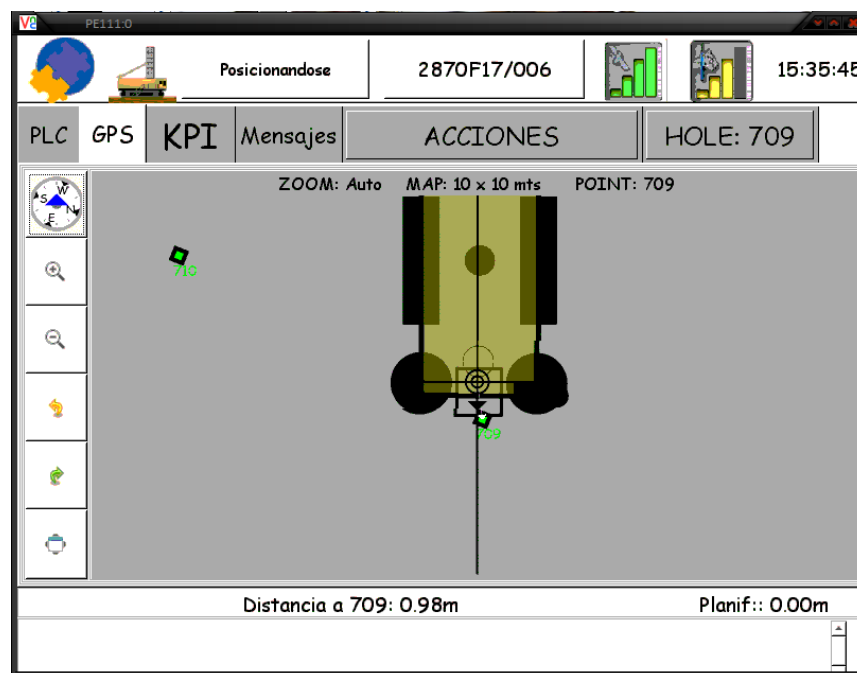


Ilustración 38 Mineops- Ventana VNC

En cuanto a los aceros de perforación, la información que proporciona es el tipo de acero que usa una determinada perforadora, la posición, su condición, la fecha de ingreso del acero, nombre del fabricante, número de serie y metros perforados.

Tipo	Perforadora	Posicion	Creado en	Fabricante	No de Serie	Condicion	Metros Perf.
Tricono	PE107	Unica	2012/05/12 11:27	Otro	882219	Nuevo	2433.000
Estabilizador	PE107	Unica	2012/01/03 13:28	Otro	MT_321_10	Nuevo	20223.699
Estabilizador	PE107	Unica	2011/07/18 16:54	Otro	RT-107	Nuevo	71141.398
Barra	PE110	Unica	2012/01/12 17:29	Metal Tools	456789	Nuevo	60672.699
Barra	PE110	Unica	2012/01/12 17:29	Metal Tools	456789	Nuevo	60672.699
Barra	PE110	Unica	2011/09/05 23:05	Atlas Copco	869119	Nuevo	135431.000
Anillo Guia	PE110	Unica	2011/06/11 11:17	Otro	25319-01	Nuevo	165141.000
Anillo Guia	PE108	Unica	2012/02/26 09:41	Otro	1068758-2	Nuevo	25080.000
Amortiguador	PE108	Unica	2012/04/01 11:07	Otro	875038	Nuevo	18121.801
Barra	PE109	Unica	2011/10/06 13:40	Otro	AG109RT	Nuevo	70236.297
Tricono			2011/07/19 17:21	Otro	1010880	Nuevo	93758.297
Tricono			2011/06/27 12:44	Otro	6071108	Nuevo	96147.703
Barra	PE109	Seguidora	2011/10/06 13:43	Otro	MT3112	Nuevo	70236.297
Tricono			2011/09/03 13:08	Otro	03780	Nuevo	15703.900
Barra	PE109	Patera	2011/12/17 18:00	MTI	311-4	Usado	47201.500
Estabilizador	PE109	Unica	2011/10/06 13:44	Otro	TA109RT	Nuevo	70236.297
Adaptador	PE109	Unica	2012/04/02 16:18	Otro	1242704	Nuevo	21008.100
Tricono	PE111	Unica	2011/07/16 08:15	WLS	1170809	Nuevo	116826.000
Tricono			2011/05/04 04:13	Otro	0010810	Nuevo	90922.398
Tricono	PE111	Unica	2011/08/16 05:01	Otro	1520809	Nuevo	105017.000
Tricono	PE111	Unica	2011/11/29 03:43	Otro	02299	Nuevo	64739.102
Tricono	PE111	Unica	2011/06/05 01:01	WLS	1430809	Nuevo	136705.000
Tricono	PE111	Unica	2011/06/20 01:53	WLS	1440809	Nuevo	127793.000
Tricono	PE111	Unica	2011/11/11 21:59	Otro	2312	Nuevo	72307.102

Ilustración 39 Mineops - Lista de aceros cambiados

Perforadora	Estados	Tipo de Perforadora	metros	pozos	Pozos Reperforados	Tasa de Penetracion	Tiempo de Perforacion (seg)	Actualizado
R03	Operativa	ROC-L8.M25	68.00	4	0	19.89	12310	2012/06/14 13:20
R01	Operativa	ROC-L8.M25	17.00	1	0	14.97	4088	2012/06/14 14:45
PE111	Operativa	DML	153.00	9	0	12.70	43355	2012/06/14 15:17
R02	Operativa	ROC-L8.M25	0.00	0	0	0.00	0	2012/06/05 21:38
PE114	Operativa	PITVIPERFL2	76.00	3	1	54.20	5048	2012/06/14 11:50
PE110	Operativa	PITVIPERFL1	0.00	0	0	0.00	0	2012/06/10 08:00
PE112	Reserva	PITVIPERFL2	37.00	2	0	22.79	5844	2012/06/14 12:20
PE113	Operativa	PITVIPERFL2	85.00	5	0	33.65	9094	2012/06/14 13:05
PE105	Operativa	DMH100	0.00	0	0	0.00	0	2012/05/24 13:55
PE108	Demora	PITVIPERFL1	0.00	0	0	0.00	0	2012/06/10 08:00
PE104	Operativa	DMH100	51.00	3	0	147.59	1244	2012/06/14 15:20
PE109	Operativa	PITVIPERFL1	0.00	0	0	0.00	0	2012/06/11 20:00
PE107	Reserva	PITVIPERFL1	0.00	0	0	0.00	0	2012/06/11 02:11
PE103	Reserva	DMH100	0.00	0	0	0.00	0	2012/02/01 08:00

Ilustración 40 Mineops - Estado perforadoras

MineOPS - Rendimiento perforadoras

Archivo Datos

Nombre	Actividad	Malla	Pozos Malla	Metros	Pozos	Pozo Actual
R03	Perforando	2810F16/204	78	68.000	4	A011
PE113	Movindose	2915F20/020	87	85.000	5	
PE114	Movindose	2930F23/006	90	76.000	3	
R01	Inactivo	2810F16/010	93	17.000	1	
PE105	Inactivo	2630F32/018	109	0.000	0	21
PE108	Inactivo	2810F16/015	129	0.000	0	120
R02	Inactivo	2615F32/202	140	0.000	0	129
PE103	Inactivo	2945F23/004	153	0.000	0	
PE107	Inactivo	3020F18/005	231	0.000	0	
PE111	Perforando	2870F17/006	233	153.000	9	709
PE112	Inactivo	2810F16/107	311	37.000	2	234
PE110	Inactivo	2885F17/009	379	0.000	0	365
PE109	Inactivo	2615F32/002	448	0.000	0	270
PE104	Perforando	2870F17/103	849	51.000	3	575

Loaded 14 Drill records in 3.053 seconds

Actualizar Aplicar

Ilustración 41 Mineops - Actividad perforadoras

MineOPS - Horómetros actuales

Archivo Datos

Nombre	Horometro	Actualizacion Horometro	Motivo	Operador
PE113	0.000	2012/06/14 10:22	Operativo 1 PRODUCCION	
PE114	721.000	2012/06/14 15:44	Operativo 1 SIN OPERADOR	JUAN, LABARCA A (6069345)
PE110	2286.000	2012/06/10 08:58	Operativo 1 SIN OPERADOR	
R02	2914.000	2011/06/27 20:38	Operativo 1 SIN OPERADOR	
PE105	44096.000	2012/05/28 12:33	Operativo 1 SIN OPERADOR	
PE112	2066.000	2012/06/14 15:49	Operativo 1 PRODUCCION	ROLANDO, RIOS H (9822372)
PE109	2167.000	2012/06/11 08:12	Operativo 1 SIN OPERADOR	
PE111			Operativo 1 PRODUCCION	PATRICIO, CAMPOS Z. (110450137)
R03	10219.000	2011/06/27 20:36	Operativo 1 PRODUCCION	JUAN GALVEZ, CORDERO (11090611)
PE108	0.000	2012/06/11 10:46	Demora 44 ESPERA SITIO PARA PERFORAR	
PE103	64489.000	2011/12/19 20:28	Reserva 202 NO AFECTO INDICES	
PE104	58863.000	2012/06/14 14:02	Operativo 1 PRODUCCION	JUAN, VARGAS P. (8323195)
R01	0.000	2012/06/13 23:19	Operativo 1 SIN OPERADOR	
PE107	0.000	2012/06/12 05:46	Reserva 1 SIN OPERADOR	

Loaded 14 Drill records in 0.260 seconds

Actualizar Aplicar

Mensaje Actividad Comb. Ping Login:

Ilustración 42 Mineops - Motivo de la actividad de la perforadora

6.1.3. Plataforma de reportes Total View

El TotalView es una aplicación, que resume y organiza los datos obtenidos mediante el programa MineOps que se generan en los equipos que intervienen en la actividad de producción de la mina. Los datos mostrados por esta plataforma no pueden ser modificados, manipulados o eliminados.

A esta forma de presentar los datos de manera organizada y resumida se le denomina documento de reporte. Los reportes son documentos fundamentales ya que en base de ellos se puede tomar decisiones para evitar problemas con respecto a caídas en la producción, bajo rendimiento de los equipos y fallas operacionales.

Los reportes agrupan datos de interés por área de trabajo, es decir, que para cada área existe un reporte específico.

Los datos se actualizan de manera constante, por lo que la información que muestra el reporte es la más reciente (actual).

Para desplegar la información es necesario fijar la fecha de inicio y final de la consulta, de tal manera que los datos mostrados son acumulados dentro de ese periodo de tiempo. El TotalView permite exportar los datos solicitados a hojas de Excel, PDF y otros formatos.

Para el área de perforación los reportes que existen en la Mina RT son los siguientes:

- Detalle de producción de la perforadora
- Detalle diario de perforación
- Detalle de cambios de acero
- Detalle de Perforación por Diseño y Programado
- Detalle de perforación por tipo de roca
- Detalle de producción de perforadoras KEEPS
- Detalle de producción de perforadora Revisión
- Detalle de Perforación por Diseño y Programado Revisión

JIGSAW | **Total View** Reports Business Intelligence **Leica Geosystems**

UserName: CRRT003ladmin_totalview Date: Tuesday, October 30, 2012 Time: 12:29:52 [Logout](#) [Help](#)

Detalle Cambios de Acero

Fecha_Inicial: 10/1/2012 Inicio_Turno: A
 Fecha_Final: 10/30/2012 Fin_Turno: B [View Report](#)

6 of 6 100% Find | Next Select a format Export

	Tricono	Marca 1	Otro	882685	10/09/2012 16:43:00	17569.00
	Tricono	Atlas Copco	HD-53	887321	23/10/2012 03:22:44	1894.00
Total Acumulado						267203.80
PE114						
	Tricono	Marca 1	Otro	91001442	10/05/2012 10:00:50	56555.27
	Tricono	Marca 1	Otro	881702	08/06/2012 09:56:26	46352.27
	Tricono	Marca 1	Otro	884844	05/07/2012 09:45:26	42296.67
	Tricono	Marca 1	Otro	882402	10/09/2012 00:15:39	18533.70
	Tricono	Marca 1	Otro	6201534	30/09/2012 19:14:31	11118.60
	Barra de perforacion	Atlas Copco	35 PIES	CYN123	29/10/2012 17:26:58	0.00
	Anillo Guia	Atlas Copco	No Aplica	CYN147	29/10/2012 18:06:59	0.00
	Estabilizador	Atlas Copco	Rodillo	RKC154	29/10/2012 18:09:10	0.00
	Amortiguador	Marca 1	Serie 100	KKJ189	29/10/2012 18:21:14	0.00
	Adaptador Superior	Sandvik	API 7 5/8	JCD54	29/10/2012 18:23:50	0.00
	Adaptador Inferior	Metal Tools	API 6 5/8	JAB54	29/10/2012 18:28:23	0.00
Total Acumulado						174856.51
R01						
	Barra de perforacion	Atlas Copco	35 PIES	CYN123	29/10/2012 17:26:58	0.00

La plataforma de reportes TotalView, permite revisar la base de datos de MineOps y conocer la administración de los reportes.

Ilustración 43 TotalView - Reporte Detalle Cambio de acero

6.2. Sistema de registro:

6.2.1. Estado Actual del Menú Cambio de Acero

El registro de los cambios de acero que se reportan por medio del JSpaanel (pantalla touch) de las perforadoras, se realiza actualmente siguiendo estos pasos (3):

1. Ingreso demora cambio de acero
2. Selección de tipo de acero a cambiar
3. Ingreso de condición y motivo de acero viejo.
4. Ingreso de fabricante, modelo, código stock, número de serie, posición y diámetro del acero nuevo

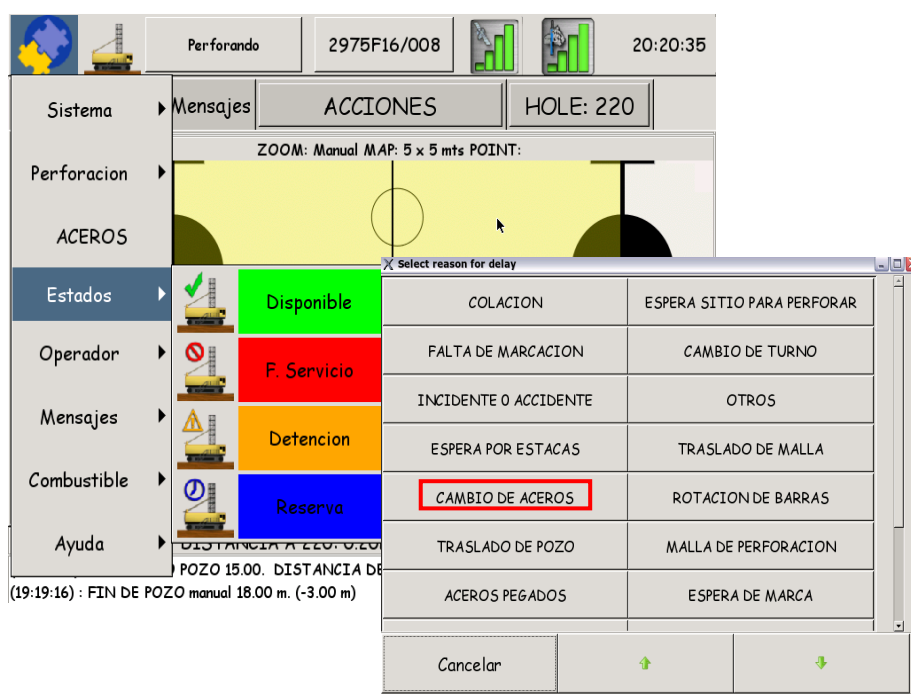


Ilustración 44 Ingreso al Menú Cambio de Acero

Menú de aceros predefinidos para las Perforadoras

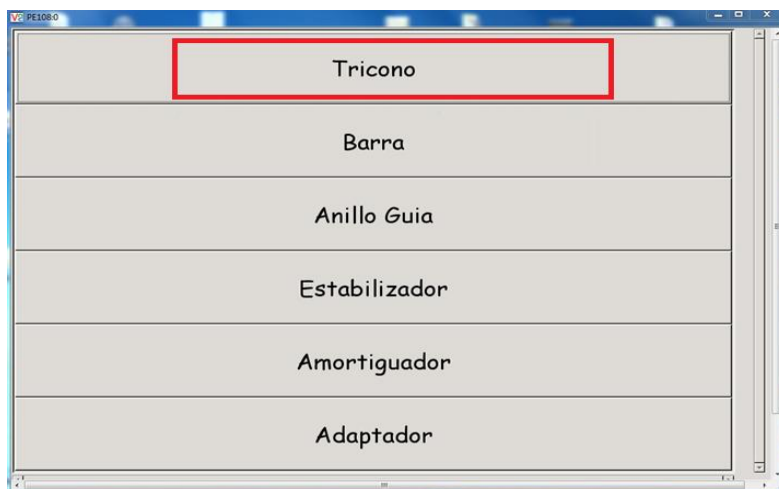


Ilustración 45 Elementos de la Sarta de perforación

Ingreso y Desmonte Aceros



Opción donde se desmonta el acero actual y se monta el nuevo acero

Debe tener un acero montado y este debe seleccionarse para desmontar y montar uno nuevo.

Ilustración 46 Menú desmonte acero

Una vez seleccionado el acero a remover se solicitan los siguientes datos:

CONDICION	MOTIVO
SELECCIONAR	SELECCIONAR
FABRICANTE	MODELO
Nuevo	Otro
CODIGO STOCK	NRO SERIE
	MT311010
POSICION	DIAMETRO
Unica	12-1/4"
Cancelar	Ok

Condición del acero **En**
Uso : Nuevo, Usado,
Dañado y Otros.

Motivo del cambio del
ácer **En Uso**:
Desgaste, tapado, Cono
trancado, etc.

Datos del acero que **Se**
Esta Instalando,
fabricante, modelo, etc.

Ilustración 47 Razón y Motivo del cambio de acero

Una vez ingresados los datos presionamos Ok.

Confirmación

Acero Seleccionado

NRO SERIE: 0151211

Cancelar Ok

DISTANCIA A 358: 1.15m Prof: 0.00m

Ilustración 48 Finalización cambio de acero-Mensaje de confirmación

En la ventana siguiente presionamos **Ok** nuevamente para confirmar el ingreso y uso del nuevo acero.

Siguiendo estos pasos, el acero en uso es desmontado del sistema e ingrese en forma automática del nuevo acero.

Cabe destacar que si no se siguen las instrucciones en el orden indicado o se omite algún paso el proceso de cambios de acero no se llevará a cabo de manera correcta.

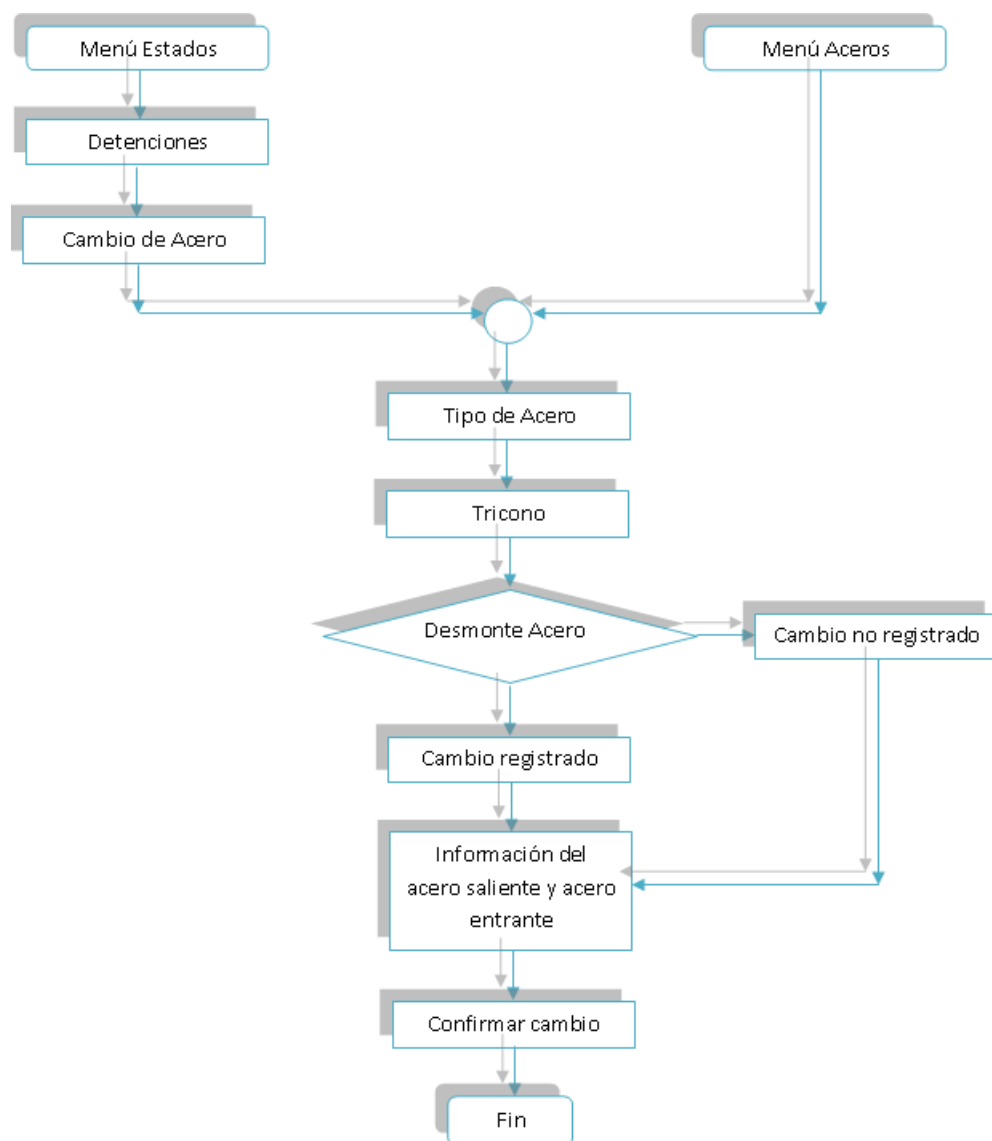


Ilustración 49 Diagrama del Estado Actual del Sistema de Control de Cambio de Aceros.

6.2.2. Identificación de las Debilidades del Sistema

Para conocer el estado actual del Sistema de Control del Uso de los Aceros de Perforación, es necesario realizar una observación de campo respecto del procedimiento que siguen los operadores de las perforadoras, verificación que cubre los siguientes pasos:

1. Observar el procedimiento que realizan los operadores para ejecutar el cambio de acero.
2. Identificar los inconvenientes que presentan los operadores al ingresar los datos.
3. Verificar que el procedimiento empleado por los operadores para el cambio de aceros es el adecuado según el respectivo protocolo.
4. Verificar que los datos ingresados por el operador se registren efectivamente en el programa MineOPS.
5. Socializar los inconvenientes que tienen los operadores entre el personal de soporte de UpTime.
6. Establecer las mejoras más apropiadas para evitar los inconvenientes detectados.
7. Verificar que las mejoras planteadas efectivamente cumplan con el objetivo propuesto.
8. Identificar los efectos positivos y/o negativos de dichas mejoras.

6.3. Debilidades del Sistema

6.3.1. Por muestreo

El siguiente cuadro, es un extracto de los reportes del cambio de aceros desde el 1 de enero del 2012 hasta el 26 de Junio del 2012.

Aceros Cambiados								
Perforadora	Nombre Acero	Marca	Modelo	Serie	Fecha Instalacion	Fecha Cambio	Metros	Razon de Cambio
PE104								
	Tricono	Atlas Copco	Otro	5548	05-01-2012 8:54	09-02-2012 12:23	5258.60	Nuevo
	Tricono	Otro	Otro	5548	05-01-2012 10:45	09-02-2012 12:27	5258.60	Nuevo
	Tricono	Atlas Copco	Otro	874972	21-01-2012 6:57	09-02-2012 12:19	1002.00	Desgaste
	Tricono	WLS	Otro	11111	09-02-2012 12:27	09-02-2012 12:43	0.00	Cono Trancado
	Tricono	Atlas Copco	60"	4444	09-02-2012 12:44	09-02-2012 12:46	0.00	Nuevo
	Tricono	WLS	ALS-62	M	09-02-2012 12:46	09-02-2012 15:50	0.00	Incidente
Total Acumulado							11519.20	
PE103								
	Tricono	Otro	WLS-62y	331210	10-01-2012 11:40	10-01-2012 11:40	0.00	Desgaste
	Tricono	Otro	WLS-62y	331210	10-01-2012 11:40	10-01-2012 11:41	0.00	Desgaste
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:42	10-01-2012 11:42	0.00	Cono Trancado
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:42	10-01-2012 11:43	0.00	Cono Trancado
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:42	10-01-2012 11:44	0.00	Cono Trancado
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:43	10-01-2012 11:42	0.00	Desgaste
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:43	10-01-2012 11:43	0.00	Desgaste
	Tricono	Otro	Otro	872735	10-01-2012 11:43	10-01-2012 11:44	0.00	Desgaste
Total Acumulado							0.00	
PE112								
	Tricono	Metal Tools	60"	ABCDE	13-01-2012 10:55	08-02-2012 15:19	13128.00	Desgaste
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	13-01-2012 10:58	08-02-2012 15:20	13128.00	Cono Trancado
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	13-01-2012 10:58	08-02-2012 15:21	13128.00	Cono Trancado
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	13-01-2012 10:58	08-02-2012 15:24	13128.00	Cono Trancado
	Tricono	Drillco Tools	65"	HIJKL	13-01-2012 11:02	08-02-2012 15:25	13128.00	Tapado
	Tricono	Drillco Tools	65"	HIJKL	13-01-2012 11:02	08-02-2012 15:25	13128.00	Tapado
	Tricono	Focus	60"	ONMLK	13-01-2012 11:03	08-02-2012 15:22	13128.00	Cono Descolgado
	Tricono	WLS	WLS-62y	271210	26-01-2012 14:24	08-02-2012 15:29	6492.00	Desgaste
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:20	08-02-2012 15:20	0.00	Desgaste
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:20	08-02-2012 15:21	0.00	Desgaste
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:20	08-02-2012 15:24	0.00	Desgaste
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:21	08-02-2012 15:20	0.00	Incidente
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:21	08-02-2012 15:21	0.00	Incidente
	Tricono	Atlas Copco	WLS-62y	ZYXWVU	08-02-2012 15:21	08-02-2012 15:24	0.00	Incidente
	Tricono	Drillco Tools	65"	HIJKL	08-02-2012 15:25	08-02-2012 15:25	0.00	Incidente
	Tricono	Drillco Tools	65"	HIJKL	08-02-2012 15:25	08-02-2012 15:25	0.00	Incidente
	Tricono	Atlas Copco	70"	11114	08-02-2012 15:31	08-02-2012 15:32	0.00	Nuevo
	Tricono	Atlas Copco	70"	11114	08-02-2012 15:31	08-02-2012 15:32	0.00	Nuevo
	Tricono	Atlas Copco	70"	11114	08-02-2012 15:32	08-02-2012 15:32	0.00	Incidente
	Tricono	Atlas Copco	70"	11114	08-02-2012 15:32	08-02-2012 15:32	0.00	Incidente
	Tricono	WLS	WLS-62y	500910	08-02-2012 22:03	22-05-2012 11:12	41306.03	Nuevo
	Barra	Otro	Otro	MT-209	07-06-2012 11:58	12-06-2012 12:20	1087.00	Nuevo
Total Acumulado							140781.03	
PE111								
	Barra	Atlas Copco	Otro	5555555	08-02-2012 17:09	08-02-2012 17:10	0.00	Nuevo
	Tricono	Otro	Otro	1026822004	26-05-2012 0:21	12-06-2012 14:58	4126.41	Cono Trancado
Total Acumulado							4126.41	
Total General							156426.64	

Ilustración 50 TotalView - Extracto de reportes

En el anterior cuadro se puede constatar que:

Existe una confusión en las fechas del ingreso de los aceros. Las fechas de cambio de los aceros nuevos con los usados no son claras, lo que disminuye el valor de los reportes.

Por los problemas existentes, la plataforma de reportes en el área de perforación aun no está perfectamente validada.

Es necesario regularizar el registro y control del consumo de aceros, para asegurar:

- El control adecuado de la información que permitirá el acceso a ella sin necesidad de otras fuentes y con un nivel óptimo de calidad.
- El valor agregado que se busca obtener del análisis de los datos ingresados (identificar los aceros que han conseguido mejores resultados, o poder hacer una mejor estimación de consumo a futuro).

A la fecha el registro y control de la información asociada no es el mejor, debido a las siguientes causas:

- Se hace necesario, una vez modificado el módulo de registro, re instruir a los operadores sobre el ingreso de los cambios de aceros para aclarar conceptos y así asegurar la calidad de la información generada.
- Se identifican tres elementos principales en base a los que deberían enfocarse los esfuerzos para mejorar la situación actual:
 - Módulo de registro de cambios de aceros
 - Operadores
 - Información base del módulo

6.3.2. Por verificación (chequeo)

El sistema de control del cambio de los aceros de perforación presenta los siguientes inconvenientes:

1. Existe confusión por parte del operador, con respecto a que en la pantalla donde se proyecta el sistema, encuentra palabras confusas. Por ejemplo, no puede identificar bien en qué situación corresponde elegir el ícono “Nuevo”, por lo que no es desmontado el tricono usado y solamente ingresan un nuevo tricono, generándose el problema al momento de revisar los reportes de los cambios de aceros, ya que aparece una perforadora con más de un tricono lo cual es imposible ya que en el reporte se habla de los aceros actuales que está ocupando la perforadora. Además no tienen claro como ingresar la información en la opción “Razón de Cambio”.
2. Los operadores no ingresan bien los datos al sistema, es decir no realizan el cambio del acero desgastado o montado y solamente colocan la fecha del acero nuevo instalado, lo cual produce inconvenientes al momento de revisar el reporte del cambio de aceros, observándose que las fechas de instalación de los aceros nuevos con las que reemplazan a los desgastados o usados no coinciden, lo que da lugar a pensar que la información está mal ingresada por parte del operador, esta situación da lugar a que no se realice un conteo eficiente de los metros perforados por los diferentes aceros.
3. Faltan datos base (Proveedores, modelos, diámetros, otros).
4. No existe diferenciación entre las opciones tipos de perforadoras y sus aceros.
5. Deficiente reportabilidad.
6. No existe listado de aceros históricos y aceros actuales de las perforadoras.
7. No se registra el desmonte del acero.
8. Capacitación de operadores no actualizada, en lo referente al uso del módulo de cambio de aceros.

CAPÍTULO VII: PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

Para solucionar los inconvenientes detectados, se plantea el siguiente Plan de Acción:

7.1. Propuesta de Plan de Acción

Acciones para corregir los problemas en el menú de la pantalla de las perforadoras:

1. Eliminar el doble acceso al menú del cambio de acero, para que el ingreso sea solo por la opción “ESTADOS”
2. Habilitar correspondencia de los elementos de la sarta de perforación según el tipo de perforadora.
3. Automatizar el desmonte del acero, mediante el siguiente procedimiento:
 - a. Seleccionar el acero: El sistema deberá pedir información sobre la condición y el motivo del cambio, automáticamente y en ventanas independientes.
 - b. Ingresar información del acero entrante (fabricante, modelo, diámetro o dimensiones, número de serie). Esta información debe pedirlo el sistema de forma automática, en ventanas diferentes y consecutivas.
 - c. Desplegar un mensaje confirmando la información del acero que se ingresa (número de serie, fabricante, modelo, diámetro)
 - d. Presionar en OK y finalizar el cambio.
4. Generar una hoja de información, por parte de DRILLCO TOOLS, con los datos de marca, modelo, número de serie, diámetro y dimensiones del acero, de modo que se controle la información que ingresa al sistema el operador.
5. Generar reportes diferentes (separados) para los aceros cambiados y los nuevos (actuales), para mejor visualización.

6. Instruir a los operadores sobre las modificaciones incorporadas en el menú de cambio de aceros.

7.2 Compromiso para realizar mejoras en el Sistema

Se elaborará un informe en el que se indiquen los problemas que presenta actualmente el sistema, su impacto y el plan de acción que permita corregirlo y/o minimizarlo. (ANEXO A.)

7.3. Realización de las mejoras del Sistema

Para realizar las mejoras en el Menú de Cambio de Aceros de las perforadoras, se debe solicitar el apoyo del personal de Soporte Técnico de la Empresa Uptime S.A.

Para solicitar la ayuda de esta empresa es necesario realizar un compromiso, que consiste en una petición formal al administrador del contrato, solicitando que el personal técnico de Uptime preste su soporte técnico.

Una vez solicitado y aprobada la petición se procederá a realizar las mejoras en el Menú Cambio de Acero de las perforadoras.

7.4. Revisión de las Mejoras

Cuando se hayan realizado las mejoras solicitadas, se procederá a verificar que el pedido ha cumplido en un ciento por ciento y que en realidad cubre el objetivo propuesto.

La revisión de las mejoras se la realizará con el apoyo del Ingeniero de Producción encargado del área de Perforación.

7.5. Aprobación de las Mejoras

Para aprobar las mejoras del Menú Cambio de Acero de las perforadoras, es necesario realizar pruebas que corroboren su funcionalidad para, esto con el apoyo del ingeniero de Producción, se accederá a la perforadora de prueba PE114, en la que se realizarán las modificaciones y las pruebas correspondientes. El acceso a la perforadora será a través del programa Mineops que permite visualizar la pantalla de la perforadora.

Al ingresar a la pantalla de la perforadora se procederá a realizar una simulación de cambio de aceros, con el fin de verificar que los datos que se ingresan se registran en el sistema y que el desmonte automático del acero se realiza sin problemas.

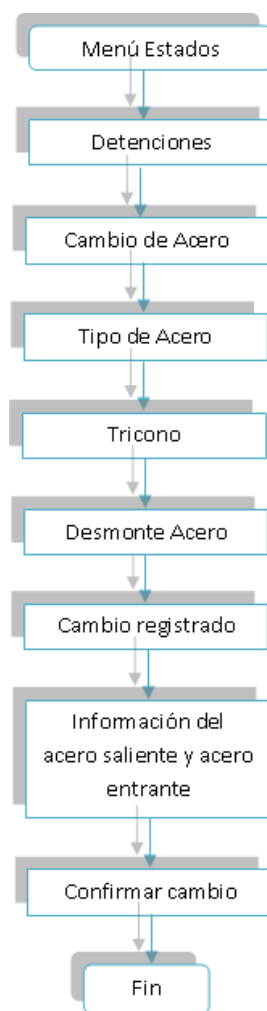


Ilustración 51 Diagrama Propuesto para el Mejoramiento del Sistema de Control de Cambio de Acero

7.6. Clientización de las Mejoras en el Menú de Cambio de Acero de las Perforadoras

Una vez aprobadas las mejoras en el menú de cambio de aceros, se procederá a instalar la actualización del programa en todas las perforadoras, para que en su menú ya conste y se empiece a generar la información adecuada.

7.7. Instrucción a los Operadores de Perforación

Instalada la actualización del programa, es necesaria la inmediata instrucción a los operadores, para que hagan un correcto uso del sistema.

El personal encargado de la capacitación será el equipo técnico de Uptime S.A. siguiendo esta secuencia:

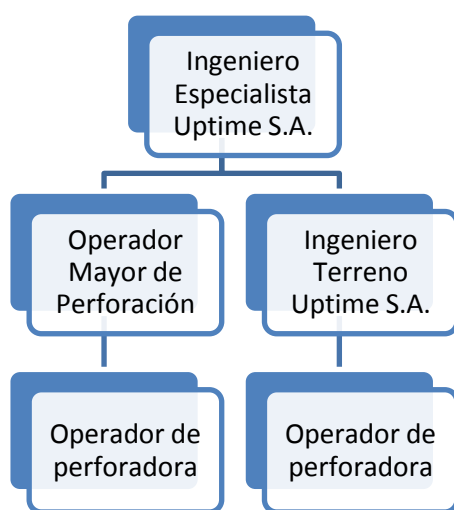


Ilustración 52 Capacitaciones

7.8. Modificación del Reporte Detalle Cambio de Acero

Para realizar la mejora del reporte cambio de acero, se debe solicitar formalmente las modificaciones a la persona encargada de los reportes del equipo de Uptime S.A.

Las modificaciones a realizarse son las siguientes (ANEXO B.):

- Agregar una columna con la información "Posición del acero", tanto en los aceros cambiados como en los nuevos (actuales).
- Agregar un filtro para acceder tanto a los aceros cambiados como a los nuevos (actuales) por tipo de aceros.
- Verificar que en los aceros actuales aparezca solamente un elemento de cada componente de la sarta de perforación.

Una vez aprobadas las mejoras del reporte, se procederá a subirlo a la plataforma de reportes TotalView, quedando accesible para el área de perforación.

7.9. Socialización del plan de mejoras entre el personal operativo de la mina

Para la socialización del plan de mejoras, se realizará una reunión con el Superintendente de Gestión de Procesos Mina Don Raúl Galán Arancibia.

CAPÍTULO VIII: RESULTADOS

8.1. Estado del Menú Cambio de Acero con las Mejoras Efectuadas

A continuación se presentan las modificaciones realizadas al Sistema. A modo de ejemplo, seguidamente consta el cambio del tricono.

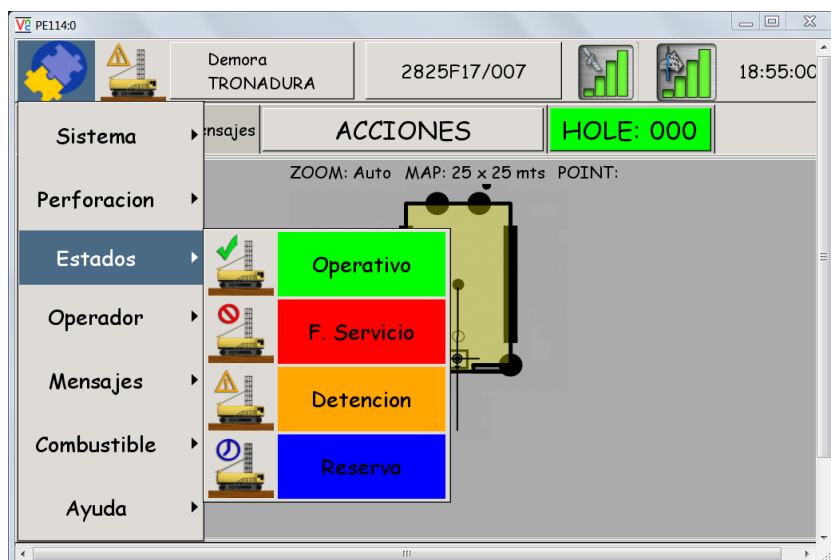


Ilustración 53 Menú Estado - Demoras

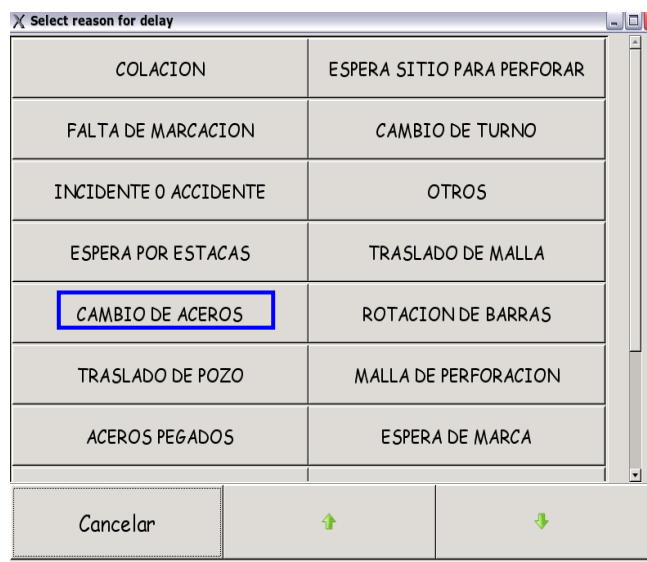


Ilustración 54 Menú Detenciones

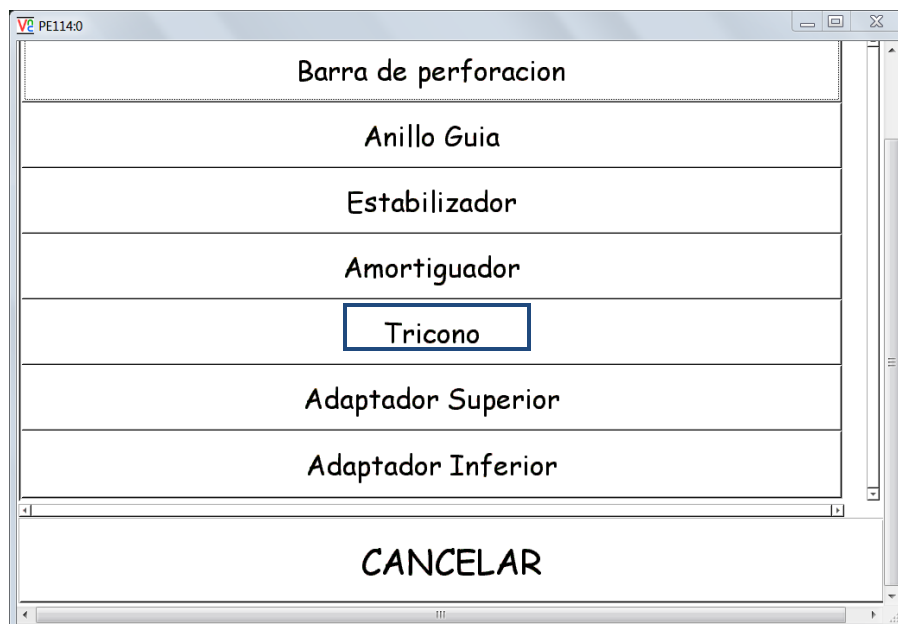


Ilustración 55 Menú Sarta de Perforación

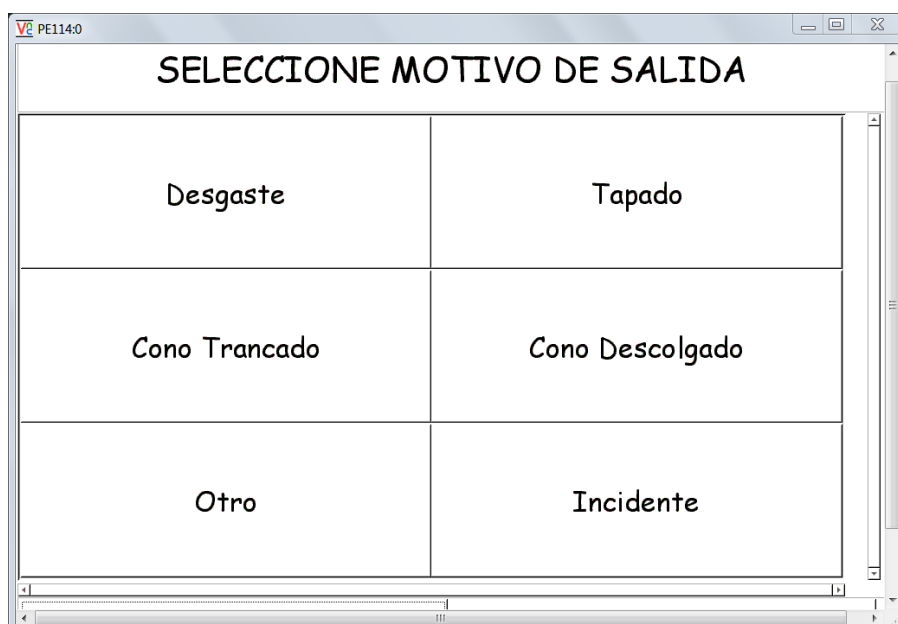


Ilustración 56 Menú Motivo de Salida

PE114:0

HIJ1

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_					
Espacio								CLR	0	OK

Cancelar

Ilustración 57 Menú ingreso número de serie

PE114:0

SELECCIONE FABRICANTE

WLS	Atlas Copco
Drillco Tools	Marca 1
Marca 2	

Ilustración 58 Menú selección fabricante

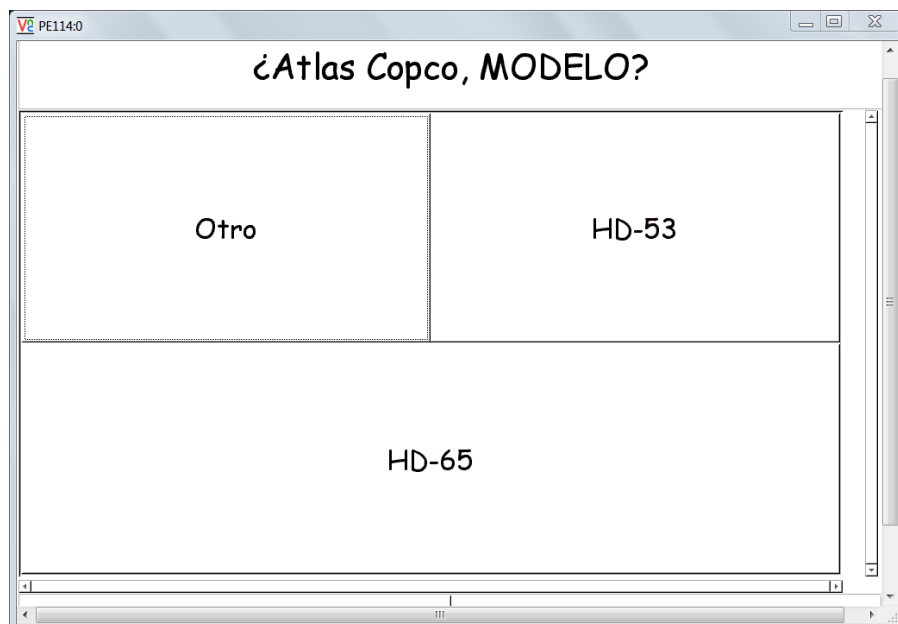


Ilustración 59 Menú modelo acero

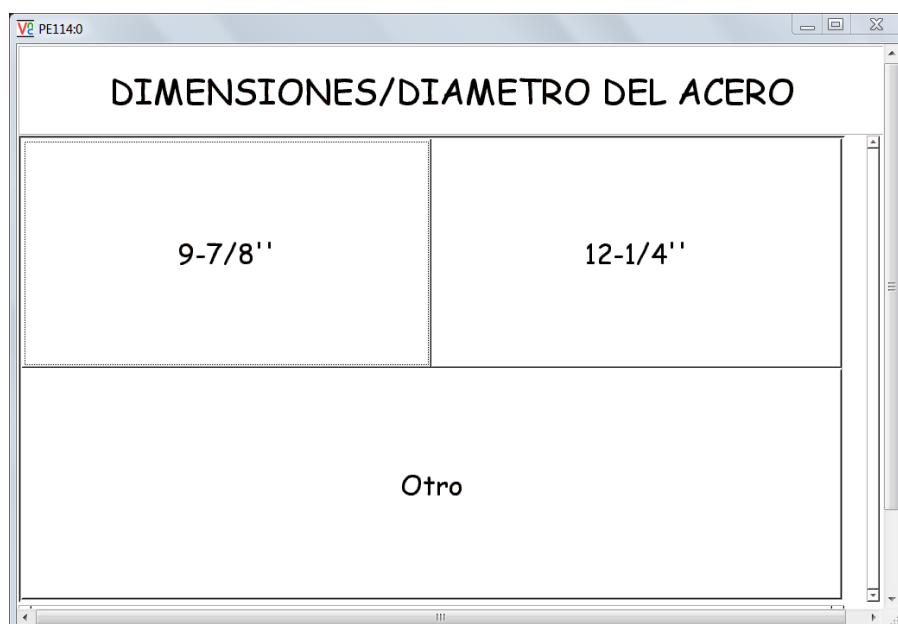


Ilustración 60 Menú dimensiones del acero

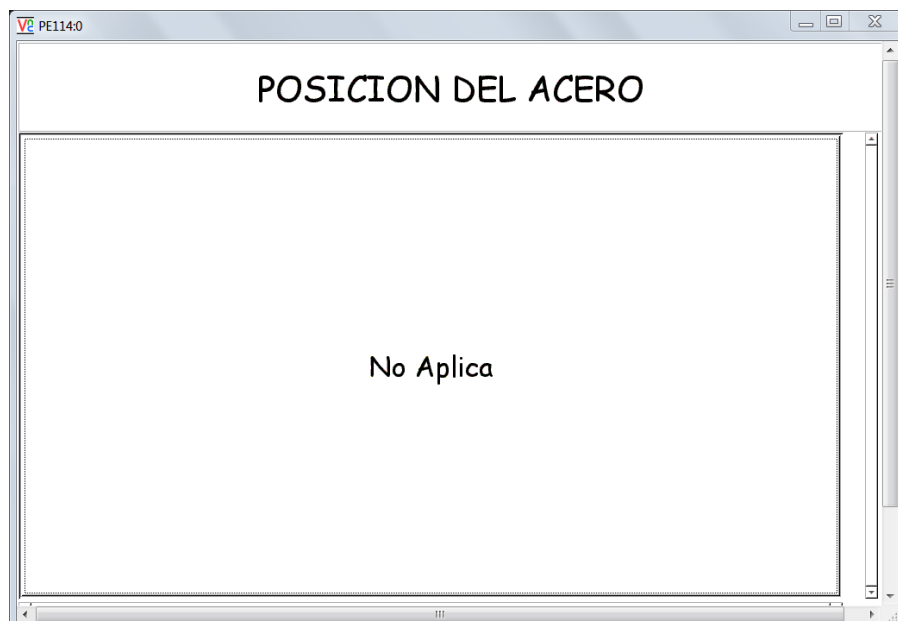


Ilustración 61 Menú posición del acero

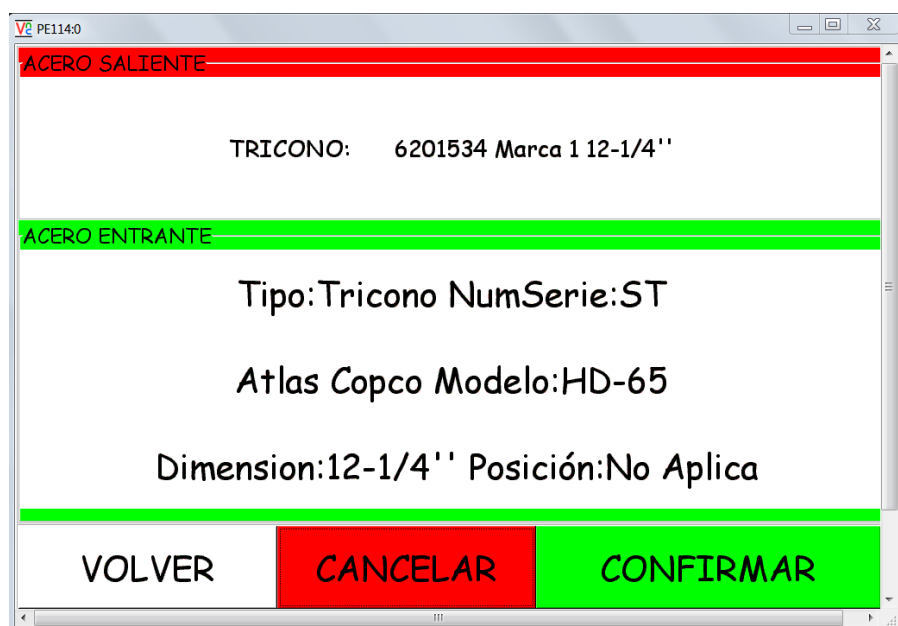


Ilustración 62 Mensaje de confirmación de acero saliente y acero entrante

Los demás cambios se presentan en el ANEXO C.

8.2. Procesamiento de datos

Para procesar los datos se realizó lo siguiente:

Se aplicó la teoría de la distribución normal de un conjunto de datos, para calcular la vida útil de los aceros de perforación o lo que es lo mismo su rendimiento, en metros perforados.

Para determinar el porcentaje de cambios de aceros que se registran en el sistema, se realizó un seguimiento ingresando en Excel tanto el número de cambios registrados en el sistema como aquellos que no se registraron.

8.3. Análisis de resultados

Muestreo de los Aceros Cambiados

Se realizó un muestreo con datos recolectados durante tres meses en el sistema MineOps (junio-agosto 2012), encontrando las siguientes novedades:

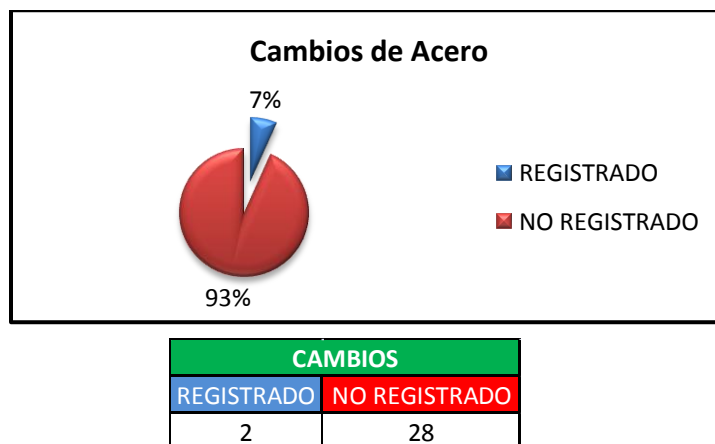


Ilustración 63 Aceros cambiados registro Mineops

De los datos extraídos de los registros de Drillco Tools S.A. desde el mes de Junio 2012 hasta agosto 2012, se obtuvieron los siguientes porcentajes:

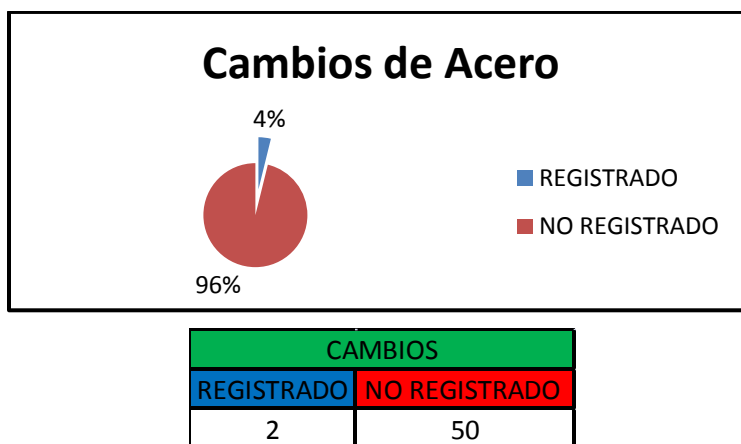


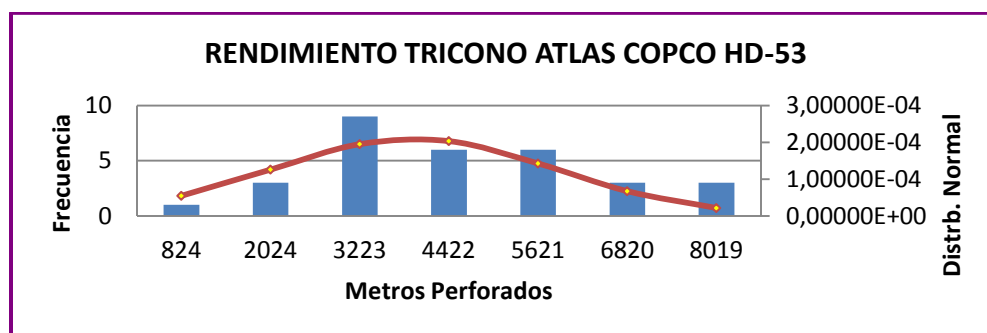
Ilustración 64 Cambios de aceros registro Drillco Tools S.A.

Rendimiento de los Aceros de Perforación

El cálculo del rendimiento de los aceros de perforación se lo realizó utilizando las estadísticas de cambios de acero de Drillco Tools S.A., información con la que se determina la vida útil de los aceros de perforación en la Mina Radomiro Tomic, se identifica el modelo de tricono y el fabricante al que corresponde el mayor rendimiento y el tipo de material (roca) perforado.

Rendimiento de los Triconos de 12 1/4

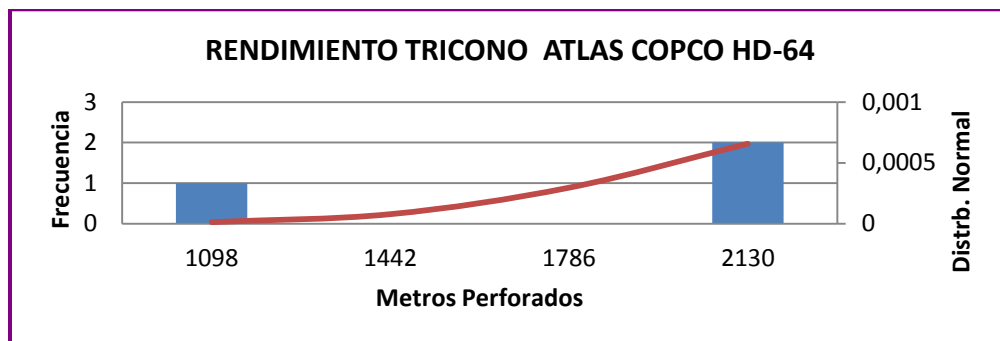
a) Para oxido:



	dias operativos	metros perforados
desvestandar	7	1902
max	31	7913
min	2	824
promedio	11	3947

Ilustración 65 Rendimiento tricono Atlas Copco HD-53

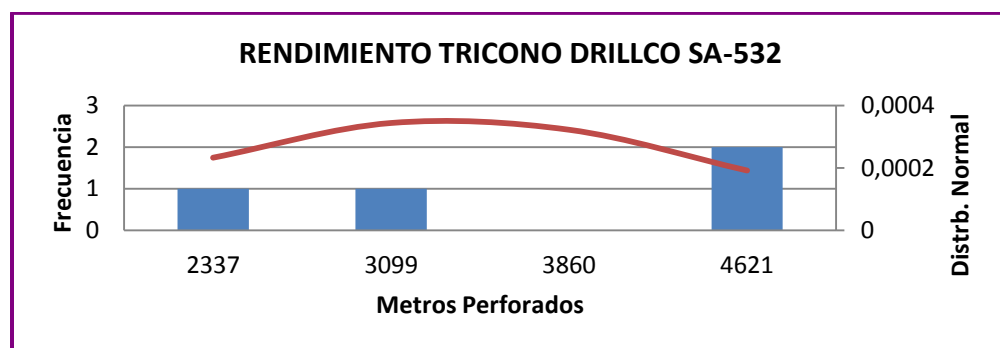
De este gráfico se deduce que los triconos HD-53 de Atlas Copco alcanzan un promedio de 3947 metros perforados en un periodo de 11 días operativos.



	días operativos	metros perforados
desvestandar	0	468
max	3	1990
min	3	1098
promedio	3	1627

Ilustración 66 Rendimiento tricono Atlas Copco HD-64

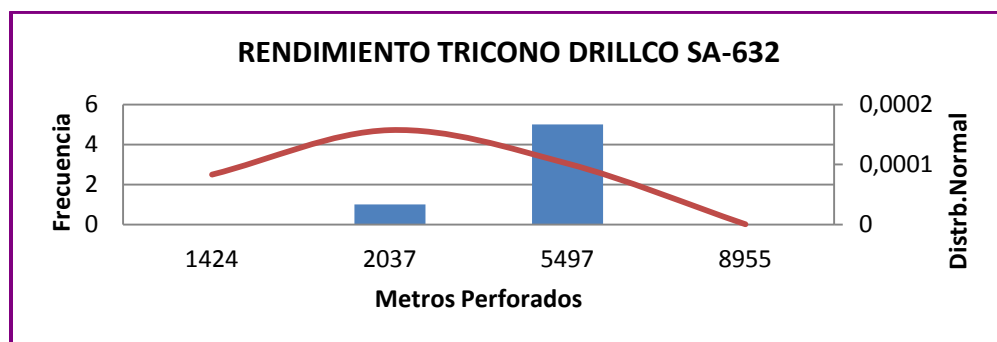
Estos datos demuestran que el tricono HD-64 de Atlas Copco tiene un promedio de 1627 metros perforados en un periodo de 3 días operativos.



	días operativos	metros perforados
desvestandar	4	1128
max	14	4621
min	5	2336
promedio	9	3371

Ilustración 67 Rendimiento tricono Drillco SA-532

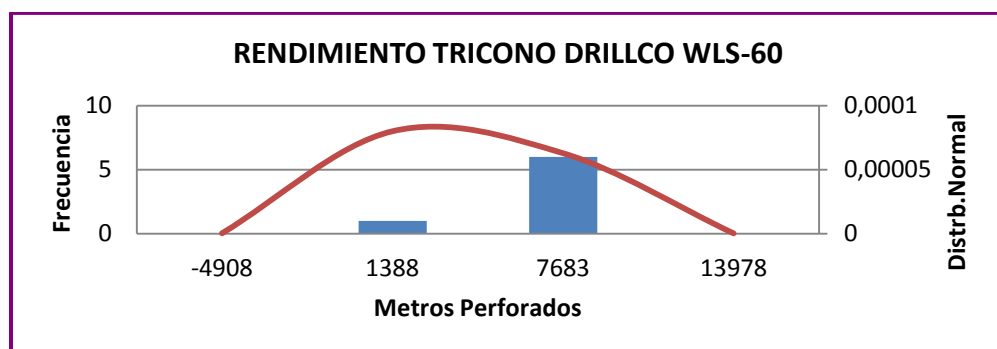
El gráfico anterior indica que el tricono SA-532 tiene un rendimiento de 3371 metros perforados en un periodo de 9 días operativos promedio.



	días operativos	metros perforados
desvestandar	4	1319
max	16	5137
min	4	2036
promedio	10	3546

Ilustración 68 Rendimiento tricono Drillco SA-632

Los datos que anteceden permiten conocer que el tricono SA-632 de Drillco tiene un rendimiento de 3546 metros perforados en un periodo de 10 días operativos promedio.

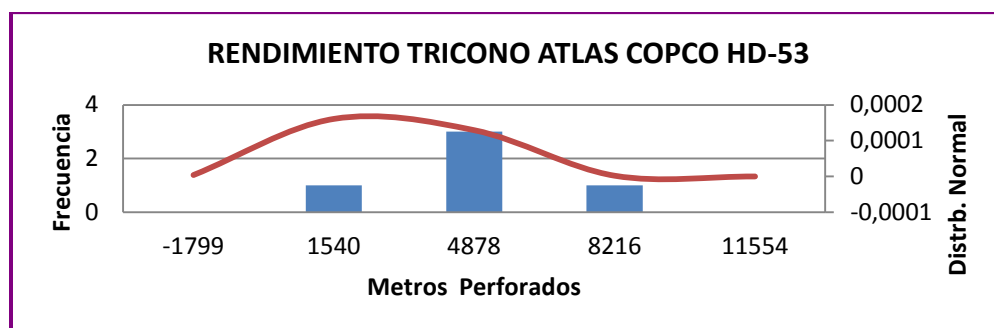


	días operativos	metros perforados
desvestandar	6	2437
max	20	7682
min	4	1387
promedio	12	4307

Ilustración 69 Rendimiento tricono Drillco WLS-60

El gráfico anterior refleja que el tricono WLS-60 de Drillco tiene un rendimiento de 4307 metros perforados en un periodo de 12 días operativos promedio.

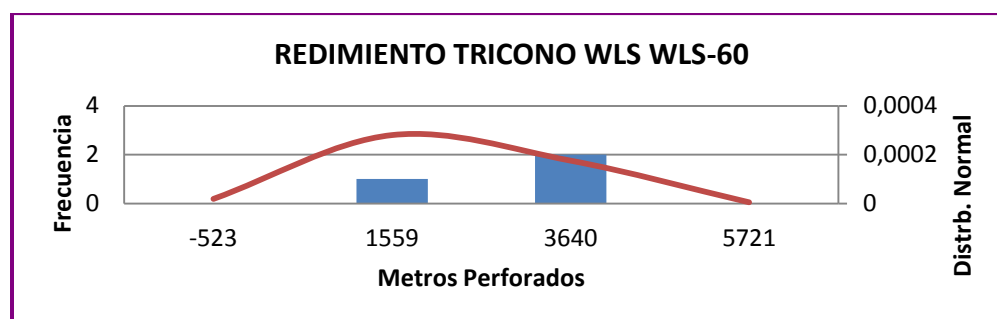
b) Para Sulfuros:



	dias operativos	metros perforados
desvestandar	5	1687
max	16	5238
min	4	1539
promedio	9	3023

Ilustración 70 Rendimiento tricono Atlas Copco HD-53

Los datos que anteceden permiten visualizar que el tricono HD-53 de Atlas Copco tiene un rendimiento de 3023 metros perforados en un periodo de 9 días operativos promedio.

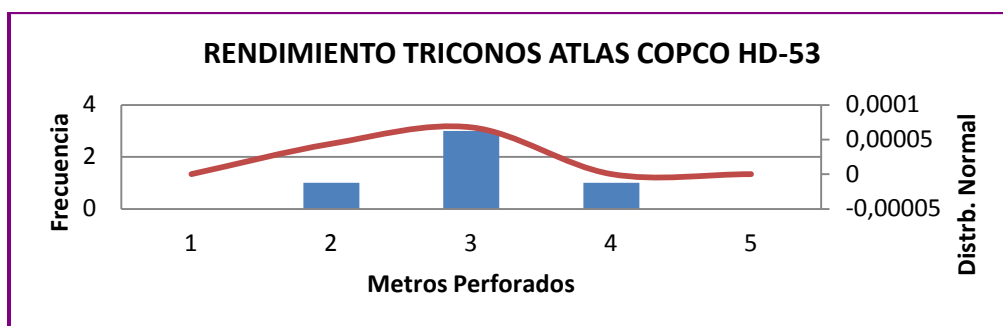


	dias operativos	metros perforados
desvestandar	3	1167
max	11	3639
min	5	1558
promedio	9	2293

Ilustración 71 Rendimiento tricono WLS WLS-60

El gráfico anterior refleja que el tricono WLS-60 de WLS tiene un rendimiento de 2293 metros perforados en un periodo de 9 días operativos promedio.

c) Para Lastre (estéril):

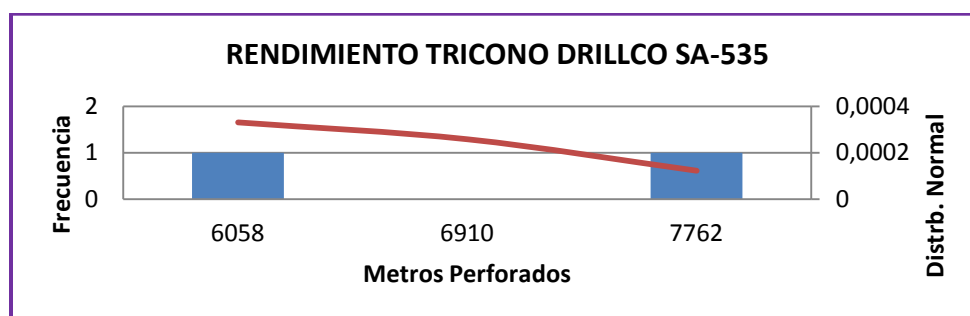


	días operativos	metros perforados
desvestandar	16	3259
max	46	9687
min	5	1460
promedio	19	6130

Ilustración 72 Rendimiento tricono Atlas Copco HD-53

Los datos que anteceden reflejan que el tricono HD-53 de Atlas Copco tiene un rendimiento de 6130 metros perforados en un periodo de 19 días operativos promedio.

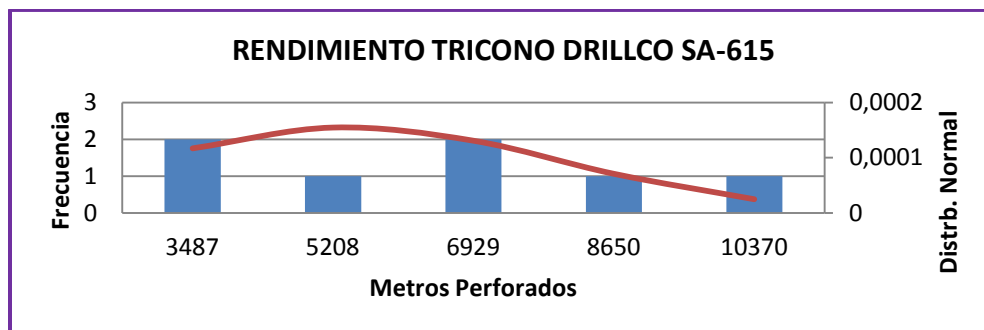
Para los triconos de 9 7/8" se obtuvieron los siguientes resultados:



	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	19	6059
MAX	21	6912
MIN	16	5205
DESVEST	4	1207

Ilustración 73 Rendimiento tricono Drillco SA-535

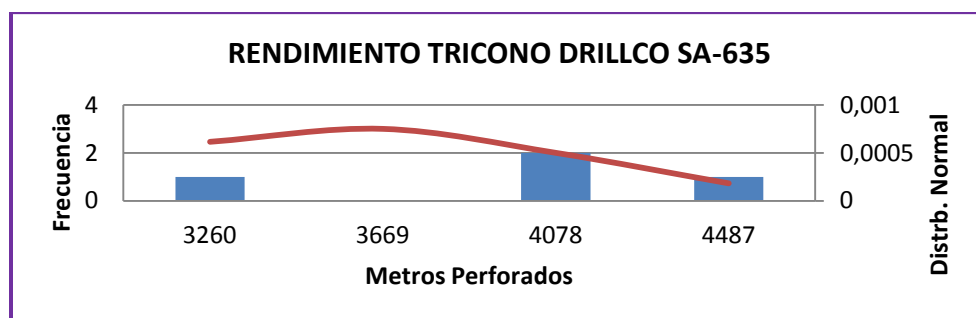
El gráfico anterior refleja que el tricono SA-535 de Drillco tiene un rendimiento de 6059 metros perforados en un tiempo promedio de 19 días operativos.



	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	16	5424
MAX	32	8651
MIN	8	1765
DESVEST	8	2571

Ilustración 74 Rendiemento tricono SA-615

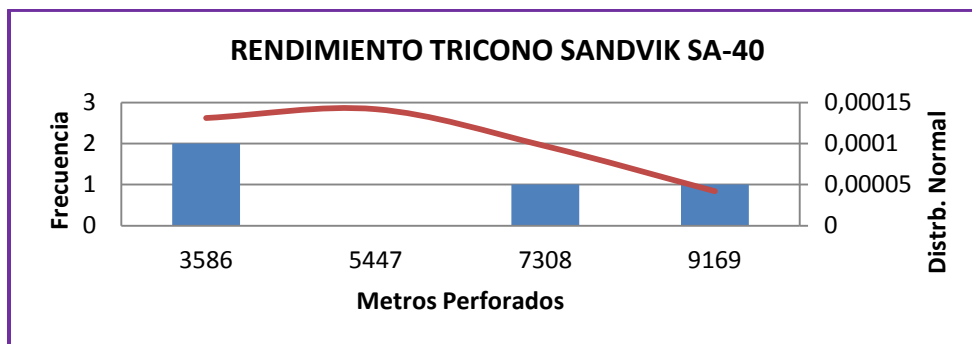
Los datos anteriores reflejan que el tricono SA-615 de Drillco tiene un rendimiento de 5424 metros perforados en un periodo promedio de 16 días operativos.



	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	11	3598,75
MAX	12	4081
MIN	9	2850
DESVEST	1	527

Ilustración 75 Rendimiento tricono SA-635

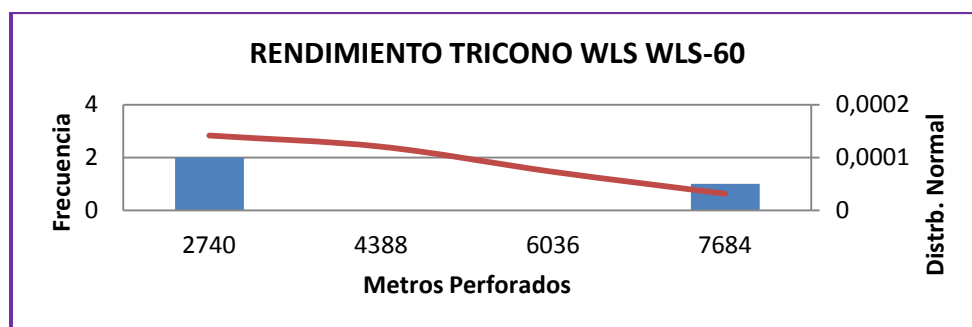
Este gráfico refleja que el tricono SA-635 de Drillco tiene un rendimiento de 3599 metros perforados en un periodo promedio de 11 días operativos.



	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	19	4835
MAX	29	7309
MIN	5	1724
DESVEST	10	2744

Ilustración 76 Rendimientto tricono Sandvik SA-40

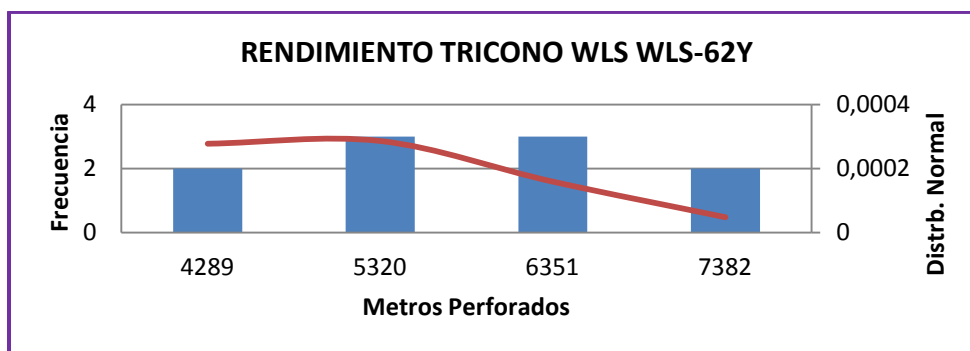
Los datos precedentes indican que el tricono SA-40 de Sandvik tiene un rendimiento de 4835 metros perforados en un periodo promedio de 19 días operativos.



	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	7	2783
MAX	12	6039
MIN	3	1091
DESVEST	5	2821

Ilustración 77 Rendimiento tricono WLS-60

El gráfico anterior refleja que el tricono WLS-60 de WLS tiene un rendimiento de 2783 metros perforados en un periodo promedio de 7 días operativos.



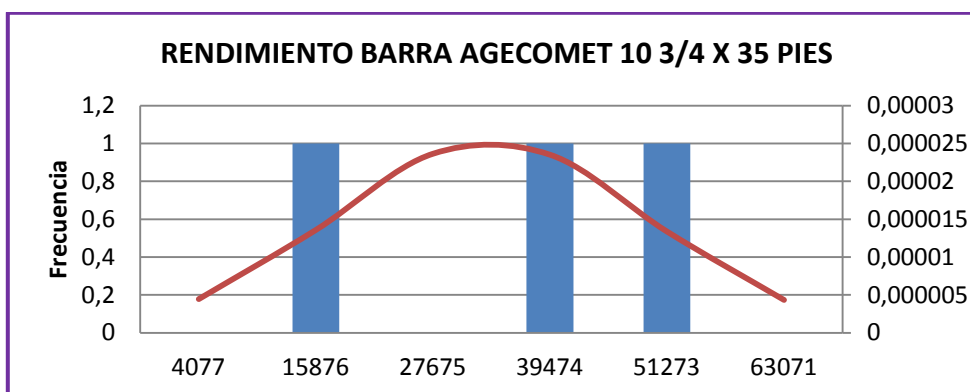
	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	10	4855
MAX	15	6354
MIN	6	3257
DESVEST	3	1311

Ilustración 78 Rendimiento tricono WLS-62Y

Los datos anteriores reflejan que el tricono WLS-62Y de WLS tiene un rendimiento de 4855 metros perforados en un periodo promedio de 10 días operativos.

Rendimiento Barras de Perforación

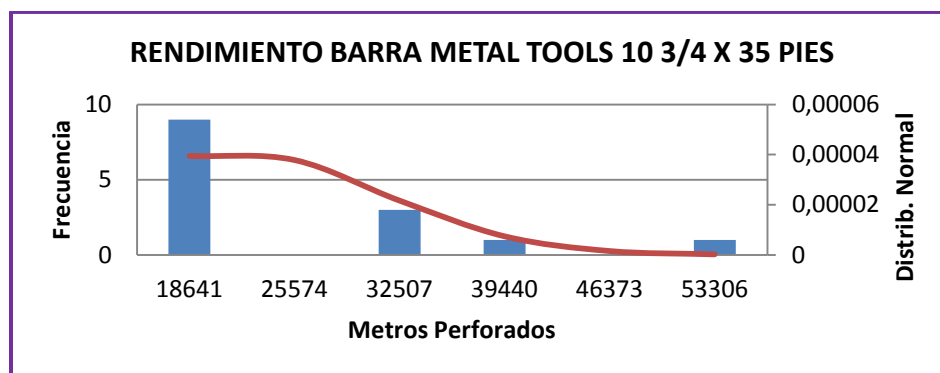
a) Barra 10 3/4"



	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	46379	168
MIN	15875	41
DESVEST	15782	64
PROMEDIO	33468	100

Ilustración 79 Rendimiento barra Agecomet

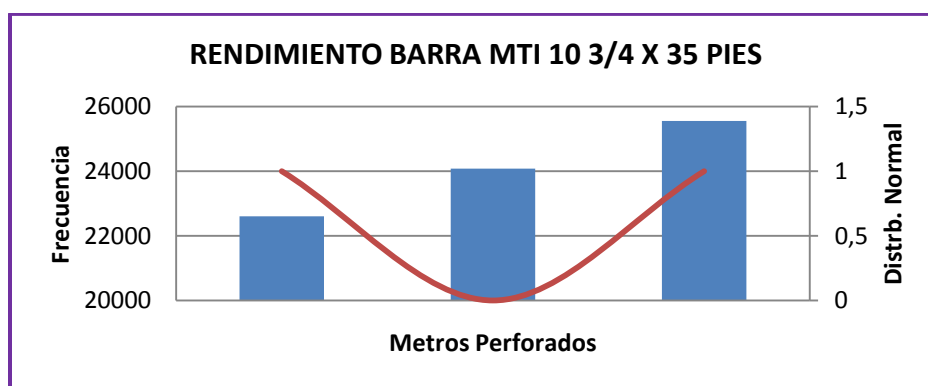
De acuerdo a este gráfico, las barras de Agecomet de 10 ¾ x 35 pies tienen un rendimiento promedio de 33468 metros perforados en 100 días operativos promedio.



	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	46379	168
MIN	11707	43
DESVEST	9650	37
PROMEDIO	21531	76

Ilustración 80 Rendimiento barra Metal Tools

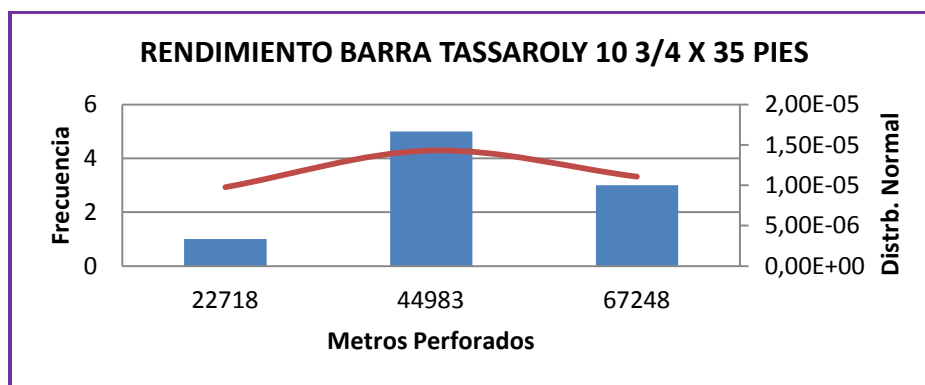
Según los datos anteriores las barras Metal Tools de 10 ¾ x 35 pies tienen un rendimiento de 21531 metros perforados en 76 días operativos promedio.



	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	25555	67
MIN	22598	51
DESVEST	2091	11
PROMEDIO	24077	59

Ilustración 81 Rendimiento barra MTI

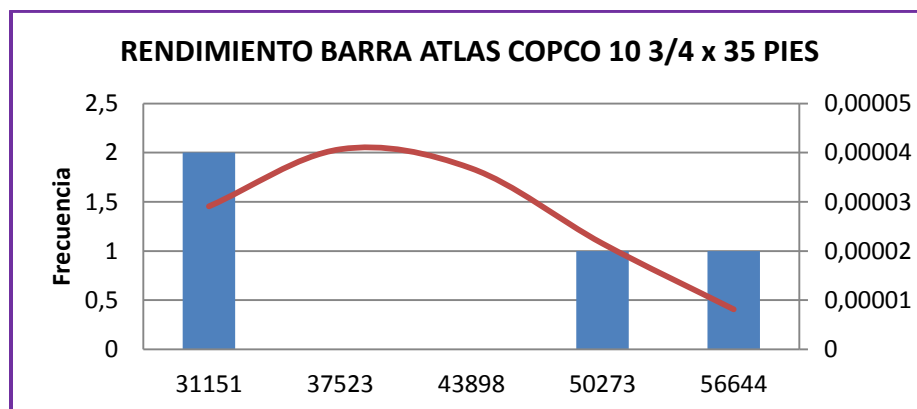
De este gráfico se deduce que las barras MTI de 10 ¾ x 35 pies tienen un rendimiento de 24077 metros perforados en 59 días operativos promedio.



	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	89516	302
MIN	452	4
DESVEST	27781	75
PROMEDIO	47168	133

Ilustración 82 Rendimiento barra Tassaroly

De acuerdo a este gráfico la barra Tassaroly de 10 ¾ x 35 pies tiene un rendimiento de 47168 metros perforados en 133 días operativos promedio.

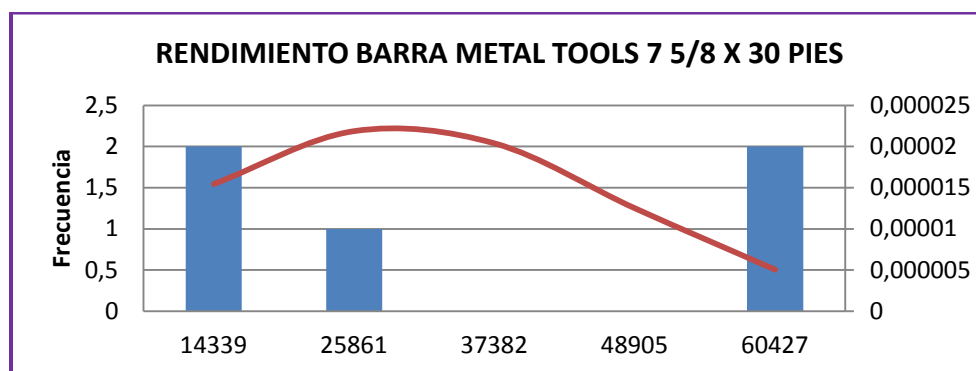


	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	50279	118
MIN	31150	71
DESVEST	9652	24
PROMEDIO	39247	83

Ilustración 83 Rendimiento barra Atlas Copco

El gráfico anterior refleja que la barra Atlas Copco de 10 ¾ x 35 pies tiene un rendimiento de 39247 metros perforados en 83 días operativos promedio.

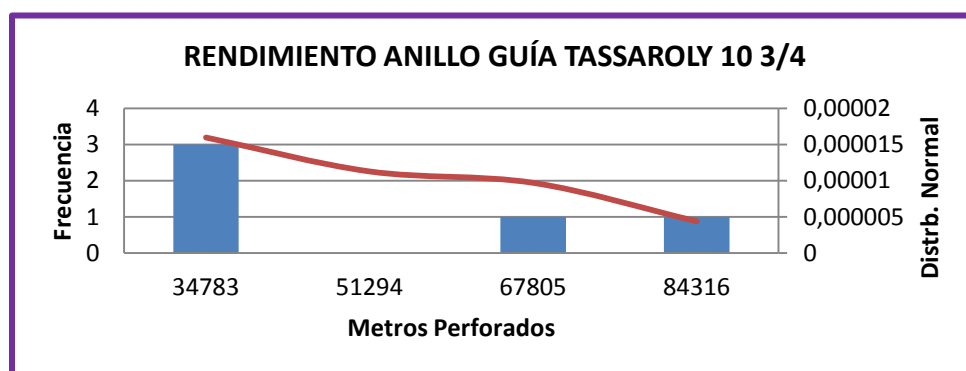
b) Barra 7 5/8”:



	METROS PERFORADOS	DÍAS OPERATIVOS
MAX	48907	108
MIN	14338	11
DESVEST	17821	50
PROMEDIO	29681	65

Ilustración 84 Rendimiento barra Metal Tools

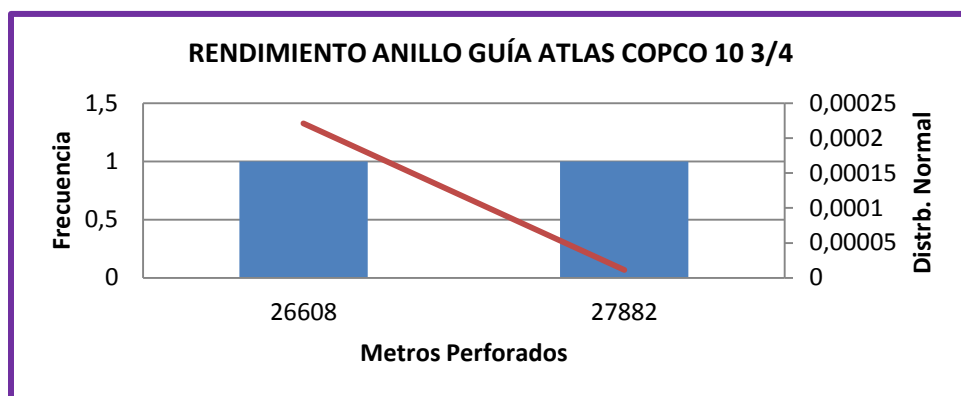
De acuerdo a este gráfico la barra Metal Tools de 7 5/8 x 30 pies tiene un rendimiento de 29681 metros perforados en 65 días operativos promedio.

Rendimiento del Anillo Guía, Estabilizador, Amortiguador y Adaptador**Anillo guía:**

	DIAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
PROMEDIO	136	42079
MAX	281	67808
MIN	28	18271
DESVEST	98	23846

Ilustración 85 Rendimiento Anillo guía Tassaroly

Este gráfico refleja que el anillo guía de 10 3/4 tiene un rendimiento de 42079 metros perforados en 136 días operativos.

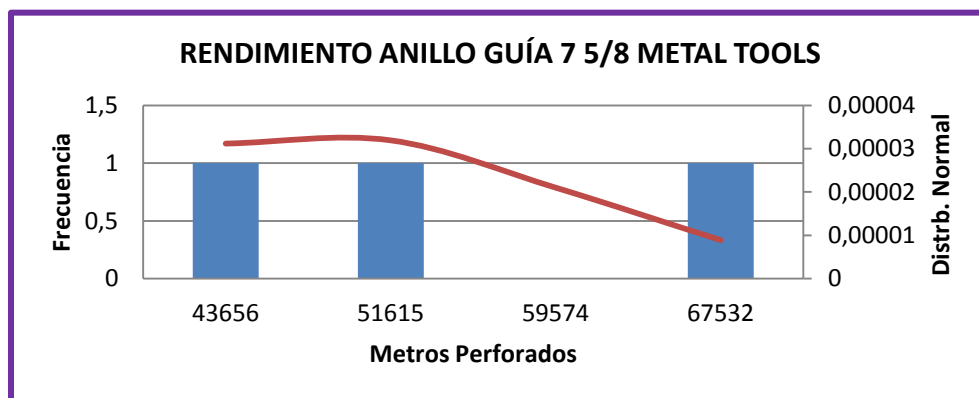


	DIAS OPERATIVOS	METROS
PROMEDIO	76	26608
MAX	97	27882
MIN	55	25333
DESVEST	30	1802

Ilustración 86 Rendimiento Anillo guía Atlas Copco

De los datos que anteceden se conoce que el anillo guía de 10 ¾ de Atlas Copco tiene un rendimiento de 26608 metros perforados en un periodo de 76 días operativos.

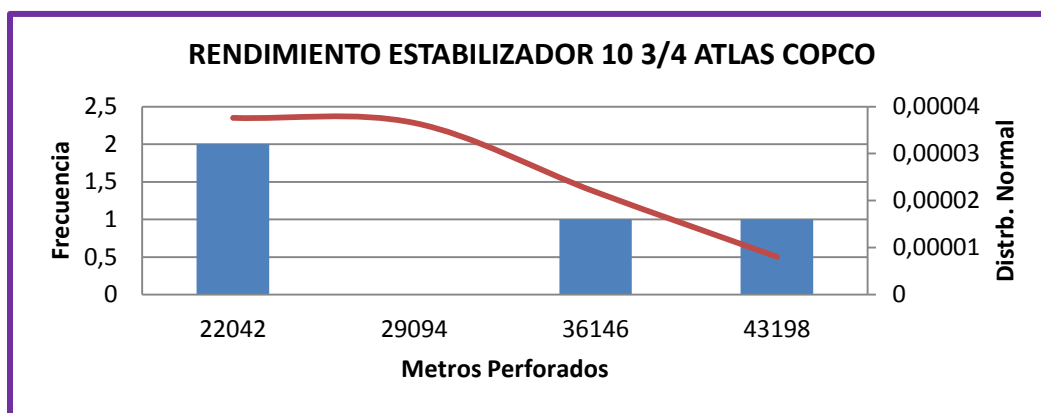
Anillo Guía 7 5/8:



	DÍAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
MAX	176	59575
MIN	106	35696
DESVEST	40	11962
PROMEDIO	130	48059

Ilustración 87 Rendimiento Anillo Guía Metal Tools

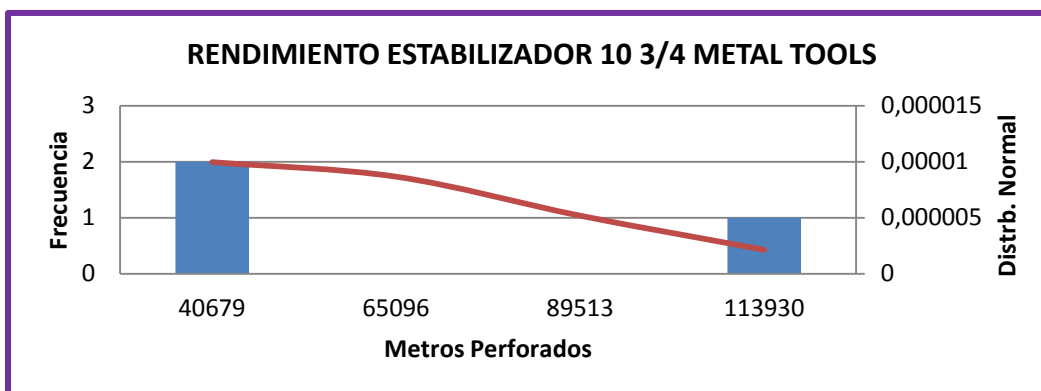
Este gráfico refleja que el anillo guía Metal Tools de 7 5/8 rinde 59575 metros perforados en 130 días operativos promedio.



	DÍAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
MAX	89	36149
MIN	51	14989
DESVEST	16	10120
PROMEDIO	68	25146

Ilustración 88 Rendimiento Estabilizador Atlas Copco

El estabilizador de 10 ¾ de Atlas Copco rinde 36149 metros perforados en un promedio de 68 días operativos.



	DÍAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS
MAX	181	89516
MIN	67	16261
DESVEST	57	39883
PROMEDIO	120	43777

Ilustración 89 Rendimiento Estabilizador Metal Tools

El estabilizador de 10 ¾ de Metal Tools rinde 89516 metros perforados en un periodo promedio de 120 días operativos.

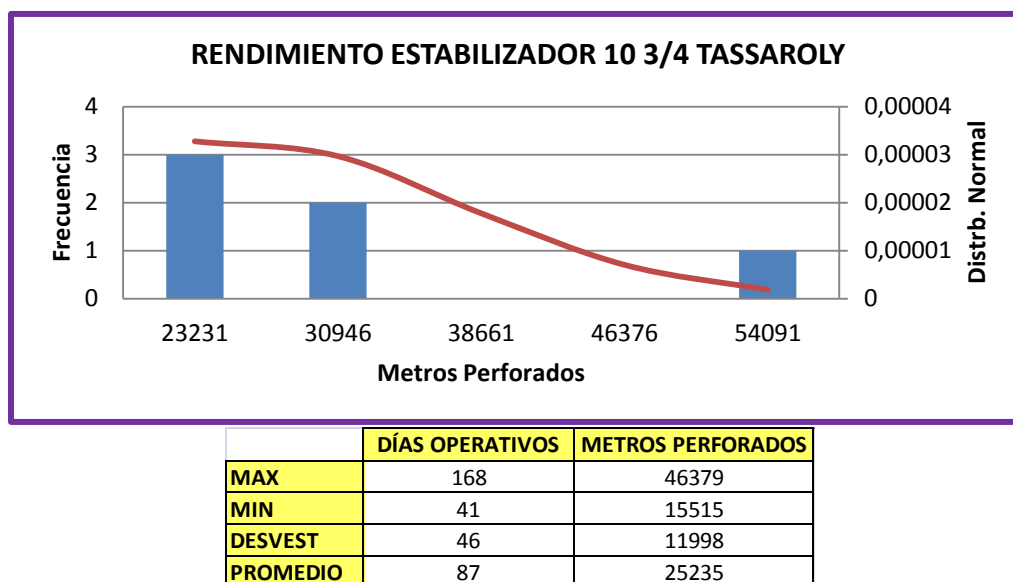


Ilustración 90 Rendimiento Estabilizador Tassaroly

El estabilizador de 10 ¾ de Tassaroly rinde 25235 metros perforados en un periodo promedio de 87 días operativos.

En cuanto al amortiguador se conoce que su vida útil se cubre en 100000 metros perforados.

El adaptador dura para 50000 metros perforados.

8.4. Interpretación de resultados

Muestreo de los aceros cambiados

De los datos analizados se deduce que el registro de los cambios de acero es deficiente, ya que del total realizado, apenas el 7% y 8% ha sido registrado en el programa MineOps durante los tres meses de seguimiento (junio-agosto 2012).

Por otro lado estos datos muestran que con el estado actual del sistema de control de cambio de aceros de las perforadoras no es posible tener un conteo exacto del número de cambios realizados en un determinado tiempo, debido a que si se observan los gráficos anteriores, se constata que en el MineOps se registran 30 cambios de acero durante los tres meses de seguimiento mientras que Drillco Tools S.A. registra 24 cambios durante los mismos tres meses. Esta información da la idea de que el control del cambio de aceros es débil y no existe certeza de dicho proceso.

Rendimiento de los Triconos

Luego de procesar los datos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Triconos de 12 1/4:

RENDIMIENTOS DE LOS TRICONOS 12 1/4 POR TIPO DE ROCA										
TIPO ROCA	PROVEEDOR	MODELO	PROM. DÍAS OPERATIVOS	METROS PERFORADOS	DESVIACIÓN ESTANDAR DÍAS	MAX DÍAS	MIN DÍAS	DESVIACIÓN ESTANDAR METROS	MÁX METROS	MÍN METROS
OXIDOS	ATLAS COPCO	HD-53	11	4288	7	31	2	2768	15786	824
		HD-64	3	2467	0	3	3	468	1990	1098
	DRILLCO	SA-532	9	9	4	14	5	1128	4621	2336
		SA-632	10	3818	4	16	4	1403	5451	2036
	WLS	WLS-60	12	4307	6	20	4	2437	7682	1387
SULFURO	ATLAS COPCO	HD-53	9	3023	5	16	4	1687	5238	1539
	WLS	WLS-60	9	2293	3	11	5	1167	3639	1558
LASTRE	ATLAS COPCO	HD-53	19	6130	16	46	5	3259	9687	1460

Tabla 33 Rendimiento Triconos 12 1/4

De los datos analizados se puede aseverar que el tricono que ofrece mayor rendimiento en Óxidos es el WLS-60 de marca WLS, ya que su vida útil es de 4307 metros perforados en un periodo promedio de 12 días operativos (mínimo rendimiento 1870 metros perforados en 6 días operativos y máximo 6744 metros perforados en 18 días operativos).

Para Sulfuros el tricono con mayor rendimiento es el HD-53 de Atlas Copco, ya que ofrece una vida útil de 3023 metros perforados en un promedio de 9 días operativos (mínimo rendimiento 1336 metros perforados en 4 días operativos y el máximo 4710 metros perforados en 14 días operativos).

Para estéril no se ha podido determinar el tricono que ofrece mayor rendimiento, ya que no se tuvo la información necesaria, sin embargo se puede decir que el tricono HD-53 de Atlas Copco ofrece un buen rendimiento para este material, pues su vida útil es de 6130 metros perforados en 19 días operativos en promedio (mínimo 2871 metros perforados en 3 días operativos y máximo 9389 metros perforados en 35 días operativos).

Para los triconos de 9 7/8" se obtuvieron los siguientes datos:

RENDIMIENTO TRICONO 9 7/8"									
PROVEEDOR	MODELO	DÍAS OPERACIONALES				METROS PERFORADOS			
		PROMEDIO	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO	MAX	MIN	DESVIACIÓN ESTANDAR
DRILLCO	SA-535	19	21	16	4	6059	6912	5205	1207
	SA-615	16	32	8	8	5424	8651	8651	2571
	SA-635	11	12	9	1	3599	4081	2850	527
SANDVICK	S-40	19	29	5	10	4835	7309	1724	2744
WLS	WLS-60	7	12	3	5	2783	6039	1091	2821
	WLS-62Y	10	15	6	3	4855	6354	3257	1311

Tabla 34 Rendimiento Triconos 9 7/8

De los gráficos correspondientes se conoce que el modelo de tricono 9 7/8" que ofrece mayor rendimiento es el SA-535 de DRILLCO, ya que ofrece 6059 metros perforados en un periodo promedio de 19 días (con un máximo de 6912 metros perforados en un tiempo promedio de 21 días operativos y un mínimo de 5205 metros perforados en un periodo de 16 días operativos).

Rendimiento Barras de Perforación

Al procesar los correspondientes datos se obtuvieron los siguientes resultados:

RENDIMIENTO DE LAS BARRAS DE PERFORACIÓN									
BARRAS	PROVEEDOR	DÍAS OPERATIVOS				METROS PERFORADOS			
		PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN
10 3/4 x 35 pies	AGECOMET	100	168	41	64	33468	46379	15875	15782
	METAL TOOLS	76	168	43	37	21531	46379	11707	9650
	MTI	59	67	51	11	24077	25555	22598	2091
	TASSAROLY	133	302	4	75	47168	89516	452	27781
	ATLAS COPCO	83	118	71	24	39247	50279	31150	9652
7 5/8 x 30 pies	METAL TOOLS	65	108	11	50	29681	48907	14338	17821
	TASSAROLY	106	106	106	0	35696	35696	35696	0

Tabla 35 Rendimiento Barras 10 3/4 y 7 5/8

De los gráficos y datos anteriores correspondientes se conoce que las barras de 10 ¾ x 35 pies, la que mayor rendimiento ofrece es la Tassaroly con 47168 metros perforados en un periodo promedio de 133 días operativos (mínimo 27532 metros perforados en 81 días operativos y máximo 76146 metros perforados en 211 días operativos).

De las barras de 7 5/8 x 30 pies no se pudo determinar la que ofrece mayor rendimiento ya que no se cuenta con la información respectiva siendo posible comparar con el rendimiento de las Metal Tools sin embargo se puede asegurar que Tassaroly ofrece el mayor rendimiento con 35696 metros perforados en 106 días operativos.

Rendimiento de Anillo Guía, Estabilizador, Amortiguador y Adaptador

De los datos procesados se han obtenido los siguientes resultados:

Anillo guía 10 ¾:

ANILLO GUÍA 10 ¾								
ANILLO GUÍA	DIAS OPERATIVOS				METROS PERFORADOS			
	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN
TASSAROLY	136	281	28	98	42079	67808	18271	23846
ATLAS COPCO	76	97	55	30	26608	27882	25333	1802

Tabla 36 Rendimiento Anillo Guía 10 ¾

El anillo guía Tassaroly es el que mayor rendimiento ofrece con 42079 metros perforados en 136 días operativos promedio (mínimo 18233 metros perforados en 38 días operativos y un máximo de 65925 metros perforados en 234 días operativos).

Anillo Guía 7 5/8:

ANILLO GUÍA 7 5/8								
ANILLO GUÍA	DIAS OPERATIVOS				METROS PERFORADOS			
	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN
METAL TOOLS	130	176	106	40	48059	59575	35696	11962

Tabla 37 Rendimiento Anillo Guía 7 5/8

El anillo guía Metal Tools ofrece 48059 metros perforados en 130 días operativos (máximo 60021 metros perforados en 170 días operativos y mínimo 36097 metros perforados en 90 días operativos).

Estabilizador 10 ¾:

ESTABILIZADOR 10 ¾								
ESTABILIZADOR	DÍAS OPERATIVOS				METROS PERFORADOS			
	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	DESVIACIÓN
ATLAS COPCO	68	89	51	16	25146	36149	14989	10120
METAL TOOLS	120	181	67	57	43777	89516	16261	39883
TASSAROLY	87	168	41	46	25235	46379	15515	11998

Tabla 38 Rendimiento Estabilizador 10 ¾

El estabilizador Metal Tools tiene un rendimiento de 43777 metros perforados en un periodo de 120 días operativos promedio (máximo 83660 metros perforados en 177 días operativos y mínimo 3894 metros perforados en 63 días operativos).

El amortiguador tiene un rendimiento de 100000 metros perforados en un periodo de 300 días operativos promedio.

En el caso del adaptador y amortiguador no se pudo calcular su rendimiento por no disponer de datos suficientes, sin embargo se conoce, por datos de fabricación, que el adaptador debería durar 50000 metros perforados en promedio y el amortiguador 100000 metros perforados.

8.5. Jerarquización de alternativas

De los datos procesados y analizados se puede decir que los aceros más adecuados para utilizar en la perforación en la Mina RT son los siguientes.

TRICONO 12 ¼	Tipo de roca	Modelo	Marca
	Oxido	WLS-60	WLS
	Sulfuro	HD-53	ATLAS COPCO
	Estéril	HD-53	ATLAS COPCO

TRICONO 9 7/8	SA-535	DRILLCO
---------------	--------	---------

BARRA	10 ¾ x 35 pies	TASSAROLY
	7 5/8 x 30 pies	TASSAROLY

ANILLO GUÍA	10 3/4	TASSAROLY
	7 5/8	METAL TOOLS

ESTABILIZADOR	10 3/4	METAL TOOLS
---------------	--------	-------------

Tabla 39 Jerarquización de rendimientos de aceros

CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones Generales:

- Los objetivos planteados para el desarrollo de este tema de investigación se cumplieron.
- El apoyo recibido por parte de Codelco- División Radomiro Tomic fue óptima para poder realizar con éxito la investigación, debido a que la empresa facilitó información, asesoramiento técnico y recursos económicos para el desarrollo del tema de investigación.
- El presente estudio puede aplicarse a cualquier empresa que cuente con el programa Jig Saw para el control de la perforación, específicamente para mejorar el control del uso de los aceros de perforación.
- El mayor inconveniente que se presentó en el desarrollo de este proyecto de estudio fue la operatividad de las mejoras propuestas, debido a que llevaron mayor tiempo de lo planificado.

9.2. Conclusiones Experimentales:

Del análisis efectuado al sistema vigente, surgen las siguientes conclusiones:

- Las debilidades del sistema de control del uso de los aceros de perforación, se deben básicamente a problemas visuales en la pantalla, a la confusión de términos, expresiones o palabras utilizadas en el respectivo menú, lo que dificulta el entendimiento del operador al momento de realizar los correspondientes registros de cambios, a la no correspondencia de los elementos de la sarta (set) de perforación a los diferentes tipos de perforadoras y a la falta de especificaciones técnicas e información respecto de fabricantes y modelos de aceros.
- Las debilidades del sistema se presentan al registrar el desmonte de los aceros (el desmonte del acero lo debe realizar el operador y no el sistema), lo que provoca que los cambios no se registren y por lo tanto información relacionada con rendimiento (metros perforados), marca, modelo y tiempo operativo de los aceros no queden guardados en la plataforma de reportes TotalView.

- Con los reportes validados se podrá obtener información estadística de los aceros cambiados e información como el motivo del cambio, que marca y modelo es la que mejor rinde. Apoyando a la toma de decisiones en cuanto a elección de modelos y marcas de aceros.
- Las debilidades que presenta el sistema de control se detectaron en base al seguimiento y recopilación de información realizado durante el trimestre junio-agosto del 2012, lapso en la se efectuaron 30 cambios de aceros, de los cuales solo 2 fueron desmontados, situación que difiere de los registros de Drillco Tools que muestra 52 cambios.
- La implementación de los cambios propuestos al sistema permitirá disponer de datos reales sobre el consumo de los aceros de perforación con toda la información anexa.
- El costo de los aceros, respecto del costo total de perforación para las perforadoras PV es de 18,61%, en tanto que para la perforadora DML alcanza a 33,79%.
- El costo unitario de perforación (US\$/m) por las perforadoras PV es de 14,26 US\$/m y para la perforadora DML es de 9,94 US\$/m.
- De los datos procesados, se deduce que los aceros de perforación que ofrecen mejor rendimiento son los siguientes:

TRICONO	Tipo de roca	Modelo	Marca
	Oxido	WLS-60	WLS
	Sulfuro	HD-53	ATLAS COPCO
	Estéril	HD-53	ATLAS COPCO

TRICONO 9 7/8	SA-535	DRILLCO
---------------	--------	---------

BARRA	10 ¾ x 35 pies	TASSAROLY
	7 5/8 x 30 pies	TASSAROLY

ANILLO GUÍA	10 3/4	TASSAROLY
	7 5/8	METAL TOOLS

ESTABILIZADOR	10 3/4	METAL TOOLS
---------------	--------	-------------

- Las mejoras propuestas en el sistema de control de los aceros de perforación han sido probadas en cuanto a su funcionalidad se refiere, por lo que se encuentran operativas y clientizadas en todos los equipos de perforación Pit Viper y DML que operan en la Mina Radomiro Tomic.

9.3. Recomendaciones

- El adecuado manejo y aplicación del sistema de control de los aceros de perforación demanda la implementación de un programa permanente de capacitación que garantice el registro completo de la información.
- La información relacionada con fabricantes y modelo de aceros debe mantenerse actualizada de manera inmediata en el sistema, incorporando también las especificaciones técnicas de los nuevos elementos ya que son estos parámetros los que deben registrarse.
- El personal técnico de Uptime debe estar permanentemente dispuesto a solucionar las fallencias operativas que permiten las pantallas de las perforadoras que carezcan comunicación durante el cambio de aceros.
- Los reportes sobre cambios de aceros de perforación debe completarse con la información relacionada con el tipo de roca que fue barrenada, para disponer de datos asociados al rendimiento de los aceros con los diferentes tipos de roca.
- El sistema debe registrar el desmonte de los aceros para evitar que el operador cometa errores o equivocaciones.
- El diagrama de flujo propuesto y que ahora se encuentra aplicado para el mejoramiento del Sistema, debe mantenerse para contar con una correcta información sobre los rendimientos de los aceros que se usan en la perforación de la Mina Radomiro Tomic.
- Para futuros temas de tesis que se realicen en colaboración con empresas mineras extranjeras, especialmente Codelco-Chile, se recomienda que los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Minas hagan énfasis en la malla curricular que han tomado a lo largo de su formación académica, de tal manera que sus temas de investigación cuenten con una previa preparación académica que facilite el desarrollo del tema de tesis.

CAPÍTULO X: BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

10.1. Referencias Bibliográficas

1. Aranguiz, P. Administración y Control de Aceros de Perforación, Modo Costo Metro Perforado.
2. CODELCO Radomiro Tomic. Delineamiento Norte Recursos Geológicos Óxidos y Sulfuros DRT.
3. CODELCO Radomiro Tomic. Protocolo de Cambio de Acero Mina Radomiro Tomic.
4. CODELCO Radomiro Tomic. Protocolo de Diseño de Perforación y Tronadura Mina Radomiro Tomic.
5. Costos de perforación. Disponible en: <http://perforacionytronadura.blogspot.com/2011/08/costos-de-perforacion.html>.
6. Farje. I. Perforación y Voladura en Minera a Cielo Abierto.
7. Flora y Fauna de Chile. Disponible en: www.slideshare.net/profesoraudp/flora-y-fauna-de-chile-10126923.
8. Gustafsson, R. Técnica Sueca de Voladura.
9. Herramientas de perforación. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/20184823/Herramientas-de-Perforacion>.
10. Jiménez, B; Labbé, E; Mesa, D; Muñoz, L; Osses, B. Informe final de Proyecto Fundamentos de Tecnología Minera el Teniente.
11. La Geomecánica en la Perforación y Voladura de Rocas. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/62235523/La-Geomecanica-El-La-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas>.
12. Minería en Chile. Disponible en: http://www.profesorenlinea.cl/Chilegeografia/Mineria_Chile.html.
13. Radomiro Tomic. Disponible en: www.codelco.com.

10.2. Bibliografía

1. ARANGUIZ, P. Administración y Control de Aceros de Perforación, Modo Costo Metro Perforado. Chile: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Minas. 2004.
2. CODELCO Radomiro Tomic. Delineamiento Norte Recursos Geológicos Óxidos y Sulfuros DRT. 2012.
3. CODELCO Radomiro Tomic. Protocolo de Cambio de Acero Mina Radomiro Tomic. Superintendencia de Operaciones Mina Radomiro Tomic, Área Perforación y Tronadura. 2012.
4. CODELCO Radomiro Tomic. Protocolo de Diseño de Perforación y Tronadura Mina Radomiro Tomic. Superintendencia de Operaciones Mina Radomiro Tomic, Área Perforación y Tronadura. 2012.
5. FARJE. I. Perforación y Voladura en Minera a Cielo Abierto. Perú Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 2006.
6. GUSTAFSSON, R. Técnica Sueca de Voladura. Suecia: SPI, Nora. 1977.
7. JIMÉNEZ, B; LABBÉ, E; MESA, D; MUÑOZ, L; OSSES, B. Informe final de Proyecto Fundamentos de Tecnología Minera el Teniente: Reservas Norte. Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. 2012.

10.3. Webgrafía

1. Costos de perforación. Disponible en: http://perforacionytronadura.blogspot.com/2011/08/costos-de_perforacion.html. Acceso 10 de Junio 2012.
2. Flora y Fauna de Chile. Disponible en: www.slideshare.net/profesoraudp/flora-y-fauna-de-chile-10126923. Acceso: 30 de Octubre 2012.
3. Herramientas de perforación. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/20184823/Herramientas-de-Perforacion>. Acceso 11 de Junio 2012.
4. La Geomecánica en la Perforación y Voladura de Rocas. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/62235523/La-Geomecanica-El-La-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas>. Acceso: 10 de junio 2012.
5. Minería en Chile. Disponible en: http://www.profesorenlinea.cl/Chilegeografia/Mineria_Chile.html. Acceso: 15 de Octubre 2012.
6. Radomiro Tomic. Disponible en: www.codelco.com. Acceso: 10 de junio 2012.

ANEXOS

ANEXO A. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

DIRECCIÓN DE RECLUTAMIENTO Y DESARROLLO GERENCIA DE RECURSOS HUMANOS DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC	 CODELCO Orgullo de Todos	Radomiro Tomic
PROGRAMA DE TRABAJO ESTUDIANTES		

DESARROLLO PLAN DE TRABAJO

I.- ANTECEDENTES ALUMNO:

NOMBRE COMPLETO	CYNTHIA ANALI ROJAS VILLACÍS	INSTITUCION	UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
CARRERA	INGENIERÍA DE MINAS	GERENCIA	GERENCIA MINA
SUPTCIA. / DIRECCION	Supetcia. Progr. y Control Proc. y Serv	PERIODO	Inicio: 16/05/2012 - Término: 16/11/2012
DIVISION	Radomiro Tomic		

II.- ANTECEDENTES TUTOR:

NOMBRE TUTOR	Raúl Galán Arancibia	CARGO	Superintendente
--------------	----------------------	-------	-----------------

III.- OBJETIVOS DE APRENDIZAJE:

OBJETIVO GENERAL			
- Gestionar el Mejoramiento del Sistema de Control de los Aceros de Perforación en la Mina Radomiro Tomic.			
OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES / FUNCIONES	PRODUCTOS A ENTREGAR	FECHA
- Identificar las debilidades del sistema de control de los aceros de perforación	- Seguimiento de los cambios de acero		Mayo 2012
- Corregir las debilidades encontradas en el sistema de control del uso de los aceros de perforación.	- Análisis del Sistema de Control de los cambios de acero		Agosto 2012
- Presentar los resultados obtenidos a la Superintendencia Programación, Control Procesos & Servicios de la Gerencia Mina RT.	- Gestionar las mejoras del sistema.		
	- Presentar la propuesta de solución.		Noviembre 2012


Firma Tutor

 **CODELCO**
Orgullo de Todos
RAÚL GALÁN ARANCIBIA
SUPERINTENDENTE DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL PROCESO Y SERVICIO
GERENCIA MINA


Firma Estudiante

ANEXO B. COMPROMISO



INFORME DE CAMBIOS EN EL MENÚ DE LAS PANTALLAS PERFORADORAS

1. PROBLEMA

En el módulo de los aceros de perforación, se ha observado que existen problemas visuales en el menú de cambio de acero y también existe una falta de información en lo referente a marcas y modelos de los aceros.

2. IMPACTO DEL PROBLEMA

Estos problemas generan las siguientes consecuencias:

- 2.1 No se registra el desmonte del acero actual.
- 2.2 Existen elementos de la sarta de perforación que no corresponden al tipo de perforadora.
- 2.3 No se cuenta con un registro adecuado de los aceros cambiados.
- 2.4 No se tiene un registro adecuado de los aceros actuales.

3. PLAN DE ACCIÓN

Acciones asociadas a corregir los problemas en el menú de la pantalla de las perforadoras:

1. Eliminar el doble acceso al menú del cambio de acero, para que el ingreso sea solo por la opción "ESTADOS"
2. Habilitar correspondencia de los elementos de la sarta de perforación según el tipo de perforadora.
3. Automatizar el desmonte del acero, mediante el siguiente procedimiento:
 - a. Seleccionar el acero, el sistema deberá pedir información sobre condición y motivo del cambio, automáticamente y en ventanas independientes.
 - b. Ingresar información del acero entrante: fabricante, modelo, diámetro o dimensiones, número de serie. Esta información el sistema debe pedirla de forma automática, en ventanas diferentes y consecutivas.
 - c. Deberá desplegarse un mensaje confirmando la información del acero que se está ingresando (número de serie, fabricante, modelo, diámetro)
 - d. Presionar en OK y el cambio esté finalizado.
4. Generar una hoja de información, por parte de DRILLCO TOOLS con los datos de marca, modelo, número de serie, diámetro y dimensiones del acero, de modo tal que se controle la información que ingresa el operador al sistema.
5. Separar los reportes de los aceros cambiados y aceros actuales, para mejor visualización.
6. Instruir a los operadores después de realizar los cambios en el menú de cambio de acero.

El sistema debe automáticamente pedir la información al operador de tal manera que el desmonte lo efectué el sistema y no el operador.

Realizado por: Cynthia Rojas V. Estudiante Memorista 	Revisado por: Jaime Villalobos Maza Ingeniero de Operaciones 	Autorizado por: Jaime Villalobos Maza Ingeniero de Operaciones 
---	---	--

ANEXO D. MENÚ CAMBIO DE ACERO JSpapel PERFORADORAS

CAMBIO DE BARRA

Barra de perforacion
Anillo Guia
Estabilizador
Amortiguador
Tricono
Adaptador Superior
Adaptador Inferior
CANCELAR

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA	
Desgaste	Otro
Incidente	Hilos
Pandeo	

Keyboard															
Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3					
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6					
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9					
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK					
Espacio															

PE1140

SELECCION FABRICANTE

MTI	Agecomet
Atlas Copco	Metal Tools
Tassaroli	Otro

PE1140

¿Atlas Copco, TIPO?

30 PIES	35 PIES
Otro	

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

7-5/8"	10-3/4"
Otro	

PE1140

POSICION DEL ACERO

Patera	Seguidora
Unica	

PE1140

ACERO SALIENTE

Barra de perforacion Seguidora: PE114|CYN123 Atlas Copco

ACERO ENTRANTE

Tipo:Barra de perforacion NumSerie:TU4

Atlas Copco Modelo:35 PIES

Dimension:10-3/4" Posición:Seguidora

VOLVER **CANCELAR** **CONFIRMAR**

CAMBIO DE ANILLO GUÍA

PE1140

SELECCIONE TIPO DE ACERO

Barra de perforacion
Anillo Guia
Estabilizador
Amortiguador
Tricono
Adaptador Superior
Adaptador Inferior

PE1140

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste	Otro
Incidente	

PE1140

INGRESE EL NUMERO DE SERIE

DUTL12

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										

PE1140

SELECCIONE FABRICANTE

Atlas Copco	Metal Tools
Tassaroli	Otro

PEI140

¿Tassaroli, TIPO?

No Aplica

PEI140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

7-5/8"	10-3/4"
Otro	

PEI140

POSICION DEL ACERO

No Aplica

PE1140

ACERO SALIENTE

Anillo Guia No Aplica: PE114|CYN147 Atlas Copco

ACERO ENTRANTE

Tipo:Anillo Guia NumSerie:DUTL12

Tassaroli Modelo:No Aplica

Dimension:7-5/8'' Posición:No Aplica

VOLVER CANCELAR CONFIRMAR

PE1140

Barra de perforacion

Anillo Guia

Estabilizador

Amortiguador

Tricono

Adaptador Superior

Adaptador Inferior

CANCELAR

PE1140

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste Otro

Incidente

PE1140

AJK789

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										

Cancelar

PE1140

SELECCION FABRICANTE

Sandvik	Atlas Copco
Metal Tools	Tassaroli
Otro	

PE1140

¿Atlas Copco, TIPO?

Otro	Rodillo
------	---------

PE1140

¿Tassaroli, TIPO?

Otro	Laina
------	-------

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

7-5/8"	10-3/4"
Otro	

PE1140

POSICION DEL ACERO

No Aplica

PE1140

ACERO SALIENTE

Estabilizador No Aplica: PE114|RKCI54 Atlas Copco

ACERO ENTRANTE

Tipo:Estabilizador NumSerie:AJK789

Tassaroli Modelo:Laina

Dimension:10-3/4" Posición:No Aplica

VOLVER CANCELAR CONFIRMAR

CAMBIO DE AMORTIGUADOR

PE1140

SELECCIONE TIPO DE ACERO

Barra de perforacion
Anillo Guia
Estabilizador
Amortiguador
Tricono
Adaptador Superior
Adaptador Inferior

PE1140

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste	Otro
Incidente	

PE1140

INGRESE EL NUMERO DE SERIE

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										

PE1140

SELECCIONE FABRICANTE

MTI	Foresmost
Otro	

PE1140

¿Foresmost, TIPO?

Otro	Serie 75
Serie 100	

PE1140

¿MTI, TIPO?

Otro	Serie 75
Serie 100	

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

No Aplica

PE1140

POSICION DEL ACERO

No Aplica

PE1140

ACERO SALIENTE

Amortiguador No Aplica: PE114|KKJI89 Marca 1

ACERO ENTRANTE

Tipo:Amortiguador NumSerie:ABC12

MTI Modelo:Serie 100

Dimension:No Aplica Posición:No Aplica

VOLVER **CANCELAR** **CONFIRMAR**

CAMBIO TRICONO

PE1140

Barra de perforacion

Anillo Guia

Estabilizador

Amortiguador

Tricono

Adaptador Superior

Adaptador Inferior

CANCELAR

PE1140

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste	Tapado
Cono Trancado	Cono Descolgado
Otro	Incidente

PE1140

HIJ1

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										
Cancelar										

PE1140

SELECCIONE FABRICANTE

WLS	Atlas Copco
Drillco Tools	Marca 1
Marca 2	

PE1140

¿Atlas Copco, MODELO?

Otro	HD-53
HD-65	

PE1140

¿WLS, MODELO?

WLS-50	WLS-62Y
WLS-65	WLS-60
ALS-62	Otro

PE1140

¿Drillco Tools, MODELO?

Otro	SA-635
SA-632	SA-535
SA-532	

PE1140

¿Marca 1, MODELO?

Otro

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

9-7/8"	12-1/4"
Otro	

PE1140

POSICION DEL ACERO

No Aplica

PE1140

ACERO SALIENTE

TRICONO: 6201534 Marca 1 12-1/4"

ACERO ENTRANTE


Tipo:Tricono NumSerie:ST

Atlas Copco Modelo:HD-65

Dimension:12-1/4" Posición:No Aplica

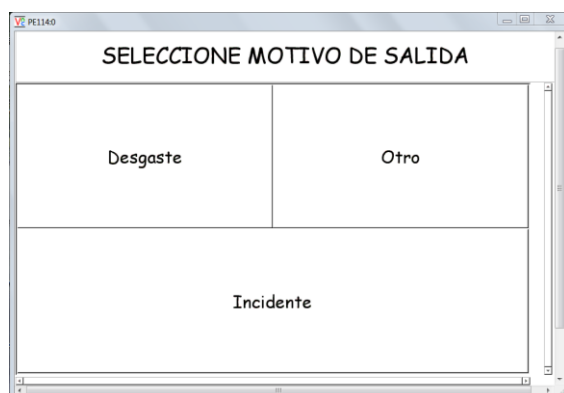
VOLVER CANCELAR CONFIRMAR

ADAPTADOR SUPERIOR



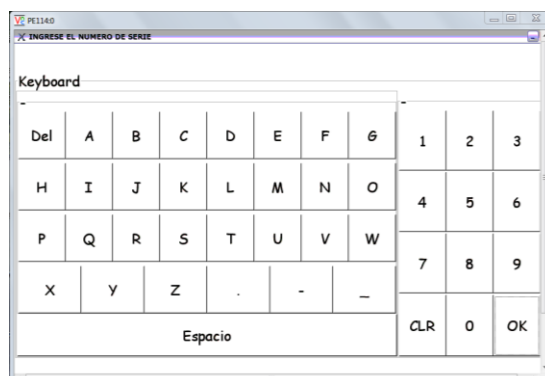
SELECCIONE TIPO DE ACERO

Barra de perforacion
Anillo Guia
Estabilizador
Amortiguador
Tricono
Adaptador Superior
Adaptador Inferior



SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste	Otro
Incidente	



PE1140
INGRESE EL NUMERO DE SERIE

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										

PE1140

SELECCIONE FABRICANTE

Sandvik	MTI
Metal Tools	Otro

PE1140

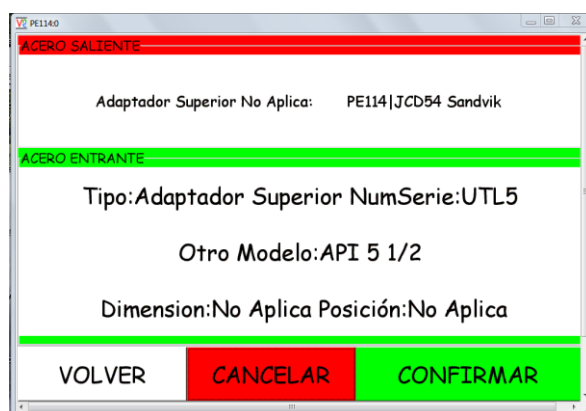
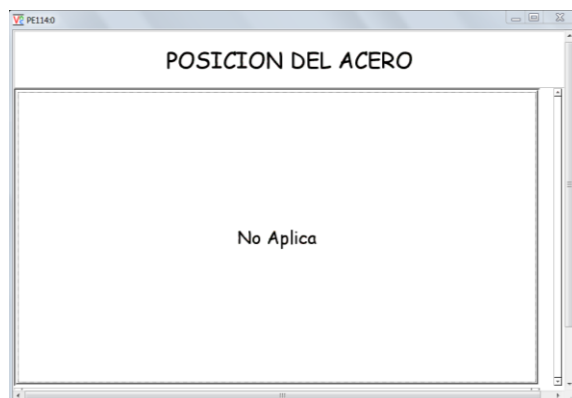
¿TIPO DE HILO?

Bacon 6 5/8	API 6 5/8
API 7 5/8	API 5 1/2
Otro	

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

No Aplica



CAMBIO ADAPTADOR INFERIOR



PE1140

SELECCIONE MOTIVO DE SALIDA

Desgaste	Otro
Incidente	

PE1140

INGRESE EL NUMERO DE SERIE

Keyboard

Del	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3
H	I	J	K	L	M	N	O	4	5	6
P	Q	R	S	T	U	V	W	7	8	9
X	Y	Z	.	-	_			CLR	0	OK
Espacio										

PE1140

SELECCIONE FABRICANTE

Sandvik	MTI
Metal Tools	Otro

PE1140

¿TIPO DE HILO?

Bacon 6 5/8	API 6 5/8
API 7 5/8	API 5 1/2
Otro	

PE1140

DIMENSIONES/DIAMETRO DEL ACERO

No Aplica

PE1140

POSICION DEL ACERO

No Aplica

PE1140

ACERO SALIENTE

Adaptador Inferior No Aplica: PE114|JAB54 Metal Tools

ACERO ENTRANTE


Tipo: Adaptador Inferior NumSerie: JKI1

Otro Modelo: API 5 1/2

Dimension: No Aplica Posición: No Aplica

VOLVER CANCELAR CONFIRMAR

ANEXO E. CAPACITACIÓN OPERADORES

 CODELCO Radomiro Tomic	CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DIVISION RADOMIRO TOMIC "REGISTRO DE COMUNICACIONES, CAPACITACIÓN Y DISTRIBUCION DE DOCUMENTOS"	Código R-006 SIG Fecha 21-03-2011 Versión 002 Página 1 de 1
---	---	--

NOMBRE RELATOR (ES):

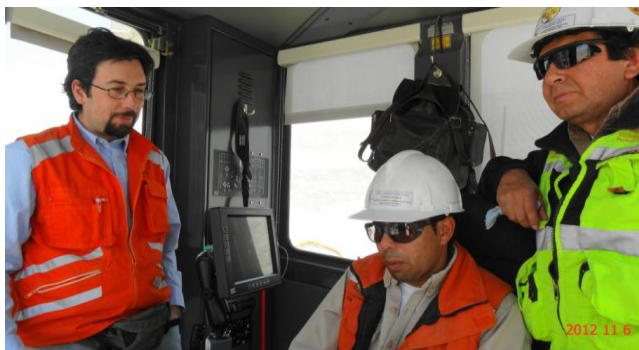
ALVARO SILVA

FECHA: 6 de Noviembre 2012 **HORA DE INICIO:** 10H30 **HORA DE TERMINO:** 12 H30
LUGAR: Superintendencia de Gestión Procesos Mina
OBJETIVOS: - Informar al operador de Perforadora sobre los cambios efectuados en el Menú cambio de Acero de las Pantallas de las Perforadoras.
 - Instruir al operador de Perforadora sobre el uso correcto del Menú cambio de Acero.
MATERIA(S) TRATADA(S): - Ingreso correcto al menú cambio de Acero.
 - Desmonte automático del acero saliente.
 - Correcto registro de información de Acero entrante
DECISIONES TOMADAS:
 - Instrucción en terreno sobre el correcto uso del menú cambio de Acero.
COMPROMISOS:
 - Don Alfredo Brizuela se compromete a instruir a operadores sobre correcto uso del menú cambio de Acero.

PARTICIPANTES:

	NOMBRE	SAP/ ARCHIVO/ RUT	ÁREA/ EMPRESA	FIRMA
1.-	Alfredo Brizuela	10165	Op. MINA	
2.-	Cynthia Rojas	58509	Sup. Control Procesos	
3.-	Alvaro Silva	132576802	Operario	
4.-	Fred Herrera	51183	Minz	
5.-	Juan Vargas	10089	MINA	
6.-				
7.-				
8.-				
9.-				
10.-				
11.-				
12.-				
13.-				
14.-				
15.-				
16.-				
17.-				
18.-				
19.-				
20.-				
21.-				
22.-				
23.-				

ANEXO F. CAPACITACIÓN OPERADORES TERRENO



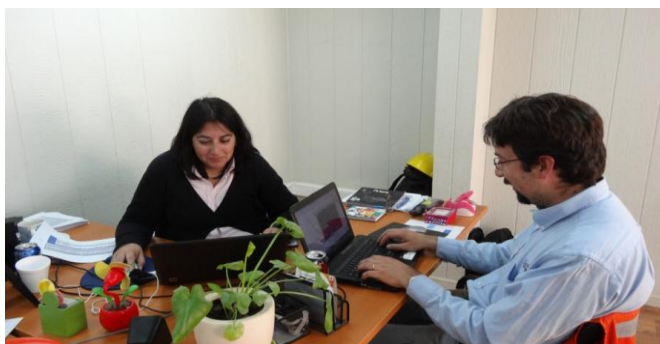
Ingeniero desarrollador y operadores de perforadoras.



Operadores de perforadoras y autora de la investigación



Supervisor de perforación y operador de perforadora



Ingeniera de Reportabilidad e Ingeniero Desarrollador.